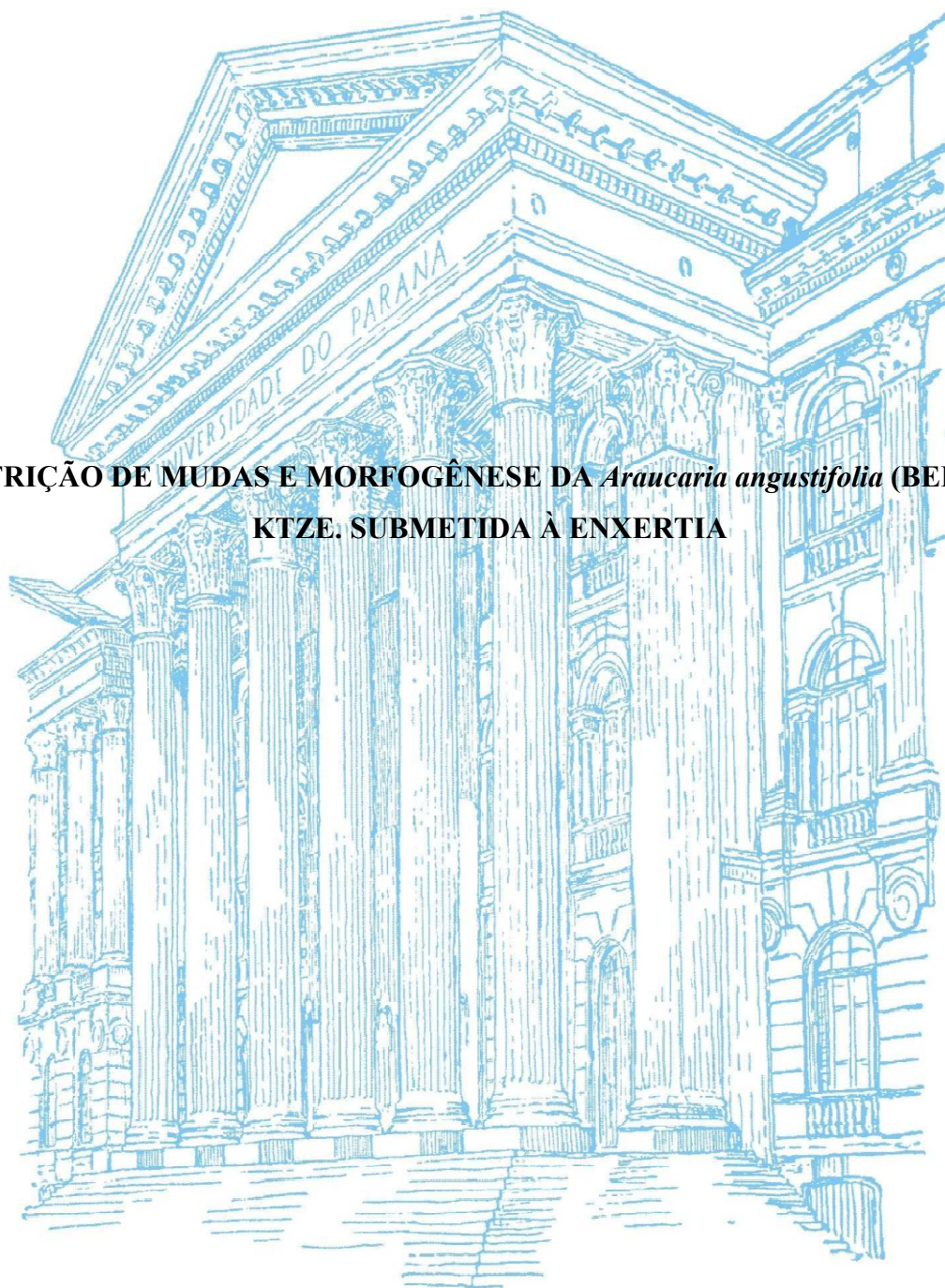


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

VALDECI CONSTANTINO

**NUTRIÇÃO DE MUDAS E MORFOGÊNESE DA *Araucaria angustifolia* (BERT.) O.
KTZE. SUBMETIDA À ENXERTIA**



CURITIBA

2017

VALDECI CONSTANTINO

**NUTRIÇÃO DE MUDAS E MORFOGÊNESE DA *Araucaria angustifolia* (BERT.) O.
KTZE. SUBMETIDA À ENXERTIA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Zanette
Coorientador: Dr. Ivar Wendling

CURITIBA

2017

C758 Constantino, Valdeci

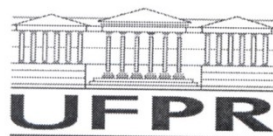
Nutrição de mudas e morfogênese da *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. Ktze. submetida à enxertia / Valdeci Constantino.
Curitiba: 2017.
134 f. il.

Orientador: Flávio Zanette

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal.

1. Pinheiro-do-paraná - Cultivo. 2. Adubação. 3. Plantas – Nutrição. 4. Propagação vegetativa. I. Zanette, Flávio.
II. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal.
III. Título.

CDU 634.0.22:631.8



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
Setor CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Programa de Pós-Graduação AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL)

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **VALDECI CONSTANTINO** intitulada: **NUTRIÇÃO DE MUDAS E MORFOGÊNESE DA *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. SUBMETIDA À ENXERTIA**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO.

Curitiba, 07 de Março de 2017.

FLAVIO ZANETTE

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

ANTONIO CARLOS VARGAS MOTTA

Avaliador Externo (UFPR)

MOESES ANDRIGO DANNER

Avaliador Externo (UFPR)

IVAR WENDLING

Avaliador Externo (EMBRAPA)

GRACIELA INES BOLZON DE MUNIZ

Avaliador Externo (UFPR)

Aos meus pais Dorvalino e Maria
Isabel, que na sua simplicidade, sempre me
apoiaram e incentivaram aos estudos.

Aos meus irmãos.

À minha esposa Ana Maria e aos meus
filhos Miguel e Milena.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e proteção.

Ao professor Flávio Zanette que aceitou me orientar, pelo apoio, confiança, entusiasmo e pelos ensinamentos que foram além do conteúdo deste trabalho.

Ao professor Antonio Vargas Motta, pela parceria e pelas sugestões valiosas para melhoria deste trabalho.

Ao pesquisador da Embrapa Florestas Ivar Wendling pela coorientação.

À todos os professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal), pelo tempo que passamos juntos e pelo aprendizado.

Ao professor Cícero Dechamps, coordenador do programa de Pós-graduação em Fitotecnia e Fitossanitarismo, pela viabilização de recursos para análise nutricional dos experimentos de adubação.

Ao professor Jomar Antonio Camarinha Filho do Departamento de Estatística, pela paciência e pela valiosa contribuição no tratamento dos dados.

À Lucimara Antunes, secretária do PGAPV, pelo apoio administrativo.

Ao técnico laboratorista do Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo Carlos Maduro pela presteza nas demandas da minha pesquisa.

Aos professores do Departamento de Solos: Volnei Pauletti, Eloana Janice Bonfleur e Vander de Freitas Melo, por disponibilizarem os Laboratórios de Nutrição de Plantas, Química e Fertilidade do solo e Mineralogia do solo, viabilizando as análises nutricionais deste trabalho.

Aos técnicos do Departamento de Solos: Fabiana Gavelaki, Maria Aparecida de Carvalho Santos, Carla Gomes Albuquerque e Flori Roberto Margraf Barberi pela atenção e apoio nas análises.

Às professoras Silvana Nisgoski e Rosilani Trianoski do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, pelo apoio e disponibilização dos Laboratórios de Anatomia e Identificação da Madeira e Painéis de Madeira.

Aos colegas Carlos Vilcatoma Medina, Marcos Dolinski, Crizane Hackbarth, Caroline Frizzo, Jéssica Welinski, Leandro Marcolino Vieira, Julierme Zimmer Barbosa, pela parceria nos estudos e nas pesquisas.

E aqueles que de alguma forma, contribuíram para conclusão deste trabalho.

A todos, meu muito obrigado!

BIOGRAFIA DO AUTOR

Valdeci Constantino nasceu em 25 de outubro de 1968 em Telêmaco Borba, Paraná. Cresceu em meio a pujança dos pinheirais numa época onde o corte era permitido sem muita burocracia, onde ainda se viam, sem peso na consciência, grandes araucárias tombadas nos campos a espera de serem descascadas antes de irem para serrarias... Quinto de sete filhos de Maria Isabel de Jesus e Dorvalino Constantino, casado com Ana Maria Paulino e pai de Miguel e Milena. Concluiu o segundo grau no Colégio Estadual Wolf Klabin. Em 1986 prestou o serviço militar cumprindo suas obrigações no 13º Batalhão de Infantaria Blindada em Ponta Grossa - PR. Retornando do quartel, trabalhou na Klabin (Indústria de papel e celulose) em Telêmaco Borba, onde permaneceu por aproximadamente dois anos. Em 1990 mudou para Irati - PR onde permaneceu em regime de internato no Colégio Florestal, único na época a formar Técnicos Florestais. Ao concluir o curso, voltou e realizou estágio na área Florestal da Klabin. Porém, tão logo acabou o estágio, foi selecionado num concurso interno realizado pela empresa para um curso técnico de informática no Rio de Janeiro (SENAI - Cetec de Metal Mecânica Euvaldo Lodi). Nesta época os computadores pessoais eram raros e o sistema operacional era baseado no DOS. Quase dois anos se passaram, lá aprendeu eletrônica e muita coisa sobre computadores (hardwares e softwares). Realizou estágio numa empresa de informática em Curitiba, onde foi efetivado. Em 1997 foi aprovado em concurso da Universidade Federal do Paraná para vaga de técnico em informática. Como ainda não tinha atuado como técnico florestal aproveitou a oportunidade para continuar os estudos, talvez pudesse conciliar a tecnologia de informática e o conhecimento na área florestal para otimização de processos, tanto no escritório como no campo. Foi com esse pensamento que prestou vestibular para Engenharia Florestal e iniciou a graduação em 1998. A formatura foi no final de 2003 e alguns meses depois iniciou o curso de Especialização em Geoprocessamento na mesma instituição. Em seguida realizou Especialização em Gestão Florestal. Em 2007 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal (mestrado) da Universidade Federal do Paraná sob a orientação do professor Dr. Antonio Higa. No início de 2009, dois dias depois do nascimento do seu primeiro filho, apresenta a dissertação com título: “EFEITO DE MÉTODOS DE PRODUÇÃO DE MUDAS E EQUIPES DE PLANTADORES NA ARQUITETURA DO SISTEMA RADICULAR E NO CRESCIMENTO DE *Pinus taeda* Linnaeus”. Em 2013 sob a orientação do professor Dr. Flávio Zanette ingressa no Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal (doutorado) da Universidade Federal do Paraná. No meio do percurso nasce a Milena. Em 07 de março de 2017 apresenta sua tese intitulada “NUTRIÇÃO DE MUDAS E MORFOGÊNESE DA *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE. SUBMETIDA À ENXERTIA”.

*Ensinemos a cultura do preservar,
Para que tenhamos do que nos orgulhar,
Deixando um legado alvisseiro
E como exemplo o pinheiro.*

*Levantemos, batamos palmas
Àqueles que se dedicam em salvar,
Colocando as suas almas
Nas espécies que estão a se acabar.*

*Desperta extrativista turrão,
Vamos enterrar o pinhão
E a futura geração
No pinheiro, verá o nosso coração.*

(WILSON PAULO BETTEGA. A araucária. p. 27, 2014).

RESUMO

A *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. é a única conífera nativa de importância econômica no Brasil. Apesar disso, ainda existem lacunas no conhecimento da sua reprodução vegetativa e aspecto nutricional. Os objetivos gerais do presente trabalho foram: avaliar a resposta da araucária à adubação; verificar a capacidade de mudança do tropismo e as características morfológicas de enxertos plagiotrópicos e verificar o potencial de multiplicação de brotações ortotrópicas na enxertia em ramos da espécie. Consequentemente, os objetivos específicos foram: (1) verificar os sintomas de deficiência nutricional na araucária; (2) estabelecer a dose de N, P e K para o maior crescimento e qualidade de mudas da espécie, bem como avaliar a distribuição de elementos/nutrientes em suas acículas; (3) verificar o crescimento, a cicatrização e a possibilidade de mudança do tropismo de enxertos plagiotrópicos empregando-se duas técnicas de enxertia em araucária e caracterizar a copa resultante; (4) avaliar a sobrevivência, a cicatrização, o crescimento e o potencial de multiplicação de brotações/borbulhas ortotrópicas pela enxertia de propágulos ortotrópicos sobre ramos da araucária. Mudas com seis meses foram adubadas com diferentes níveis de N, P e K em vasos. Foram avaliados parâmetros de crescimento e qualidade das plantas e o teor foliar destes elementos. Foi utilizada microscopia eletrônica de varredura (MEV) com espectroscopia por dispersão de energia (EDS) para avaliar a acumulação de elementos em quatro tipos de tecidos especializados das acículas. As plantas apresentaram sinais de deficiência nutricional na omissão de N e P, no entanto, o fornecimento destes elementos favoreceu o crescimento das mudas de araucária, resultando em maior conteúdo de biomassa seca, o que não ocorreu com o fornecimento de K, apesar do teor foliar deste elemento ter respondido de forma quadrática. Na baixa disponibilidade de P e K, esses elementos foram encontrados em baixas concentrações na epiderme, no mesófilo e em cristais. Conclui-se que o fornecimento de N e P promove resposta linear no teor foliar para estes elementos, refletindo melhoria no índice de qualidade de mudas de araucária, resultante da mudança de crescimento. A falta de resposta para o fornecimento de K indica consumo de luxo em relação ao crescimento. A disponibilidade de P e K no solo afeta a acumulação de elementos em acículas de araucária. Para avaliação do tropismo foram utilizadas brotações de ramos primários podados, as quais foram enxertadas sobre porta-enxertos de dois anos pela técnica de garfagem e borbúlia de placa. De acordo com os resultados, pelo menos 10% dos enxertos apresentaram crescimento vertical. Porém, em todos os casos os enxertos apresentaram morfologia de ramo. Conclui-se que a mudança do tropismo na enxertia de araucária não é suficiente para regenerar uma planta normal. Para avaliar o potencial de multiplicação de borbulhas, ramos de araucárias jovens (três anos de idade) foram enxertados com propágulos obtidos do segmento apical de tronco de mudas de dois anos. Obtiveram-se enxertos com boas condições de cicatrização, crescimento com características ortotrópicas e aptos para fornecimento de borbulhas viáveis. Conclui-se que a enxertia em ramos primários da araucária é viável. Portanto, a possibilidade de enxertia em vários ramos de uma mesma planta configura uma alternativa para multiplicação de borbulhas, sendo indicados ramos do verticilo superior, uma vez que estão menos sujeitos à dominância apical.

Palavras-chave: Adubação de plantas. Microscopia eletrônica de varredura. Propagação vegetativa. Plagiotropismo.

ABSTRACT

Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze. is the only native conifer with economic importance in Brazil. Despite this, there are still gaps in the knowledge of its vegetative reproduction and nutritional aspect. The general goals of the present study were: to evaluate the araucaria response to fertilization; verify the ability to change the tropism and the morphological characteristics of plagiotropic grafts and verify the potential for multiplication of orthotropic buds in the grafting of the species. Consequently, the specific objectives were: (1) to verify the symptoms of nutritional deficiency in araucaria; (2) to establish the N, P and K dose for the highest growth and quality of araucaria seedlings, as well as to evaluate the distribution of elements/nutrients in their needles; (3) to verify the growth, healing and the possibility of change of the tropism of plagiotropic grafts using two araucaria grafting techniques and to characterize the resulting canopy; (4) to evaluate the survival, healing, growth and the potential of multiplication of orthotropic buds by the grafting of orthotropic propagules on branches of the species. Araucaria seedlings with six months were fertilized with different levels of N, P and K in pots. Parameters of growth and quality of seedlings and foliar content of these elements were evaluated. Scanning electron microscopy (SEM) with energy dispersive spectroscopy (EDS) was used to evaluate the accumulation of elements in four specialized tissue types of the needles. The plants presented signs of nutritional deficiency in the omission of N and P, however, the supply of these elements favored the growth of araucaria seedlings, resulting in a higher content of dry biomass, which did not occur with the supply of K, although the leaf content of this element responded in a quadratic form. In the low availability of P and K, these elements were found in low concentrations in the epidermis, mesophyll and crystals. We concluded that the supply of N and P promotes a linear response in the leaf content for these elements, reflecting improvement in the quality index of araucaria seedlings, resulting from the change in growth. The lack of response to the supply of K indicates luxury consumption in relation to growth. The availability of P and K in soil affects the accumulation of elements in araucaria needles. To evaluate the tropism, shoots of pruned primary branches were used, which were grafted on two-year-old rootstocks using the cleft and patch budding grafting technique. According to the results, at least 10% of the grafts presented vertical growth. However, in all cases the grafts presented branch morphology. We concluded that the change of tropism in araucaria grafting is not enough to regenerate a normal plant. To evaluate the potential for multiplication of orthotropic buds, three-year-old araucaria branches were grafted with propagules obtained from the apical segment of two - year - old seedlings. Grafts were obtained with good healing conditions, growth with orthotropic characteristics suitable for the delivery of viable buds. We concluded that the grafting in primary branches of araucaria is viable. Therefore, the possibility of grafting in several branches of the same plant constitutes an alternative for the multiplication of orthotropic buds, being indicated branches of the superior whorl, since they are less subject to the apical dominance.

Key words: Plant fertilization. Scanning electron microscopy. Vegetative propagation. Plagiotropism.

LISTA DE FIGURAS

2 REVISÃO DE LITERATURA

FIGURA 1 - FLORESTA OMBRÓFILA MISTA: UNIDADE FITOGEOGRÁFICA CONTENDO GIMNOSPERMAS E ANGIOSPERMAS, COM DESTAQUE PARA AS ARAUCÁRIAS EM ESTÁGIO AVANÇADO DE REGENERAÇÃO (MUNICÍPIO DE FERNANDES PINHEIRO, PR, BRASIL).....	19
FIGURA 2 - ÁREA DE DISTRIBUIÇÃO ORIGINAL DA <i>A. angustifolia</i>	19
FIGURA 3 - ARQUITETURA DAS ÁRVORES DE ACORDO COM O MODELO "RAUH".....	27

3 CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE *Araucaria angustifolia* SUBMETIDAS A NÍVEIS DE NPK E O EFEITO NA DISTRIBUIÇÃO DE ELEMENTOS EM ACÍCULAS

FIGURA 1 - EXPERIMENTO DE ADUBAÇÃO COM NPK EM MUDAS DE <i>A. angustifolia</i>	38
FIGURA 2 - FOTOMICROGRAFIA (OBTIDA COM MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA EM ALTO VÁCUO, APÓS METALIZAÇÃO COM AU) DA SECÇÃO DA ACÍCULA DE <i>A. angustifolia</i> COM INDICAÇÃO DOS PONTOS ONDE FORAM REALIZADAS AS DETERMINAÇÕES DE COMPOSIÇÃO ELEMENTAR COM ESPECTROSCÓPIO DE ENERGIA DISPERSIVA DE RAIOS-X. AdE: EPIDERME ADAXIAL. PM: MESÓFILO PALIÇADICO. SM: MESÓFILO ESPONJOSO. AbE: EPIDERME ABAXIAL.....	41
FIGURA 3 - EFEITO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NOS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DE MUDAS DE <i>A. angustifolia</i> MANTIDAS EM VASOS: A) ALTURA E DIÂMETRO 526 DIAS (17,5 MESES) APÓS A ADUBAÇÃO; B) COMPRIMENTO E LARGURA DAS ACÍCULAS; C) MASSA DE ACICULAS, TRONCO E RAMOS AOS 21 MESES APÓS A ADUBAÇÃO.....	43
FIGURA 4 - EFEITO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NOS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE <i>A. angustifolia</i> MANTIDAS EM VASOS, APÓS 21 MESES: A) MASSA SECA (PARTE AÉREA E RAÍZES) E RELAÇÃO RAÍZ PARTE AÉREA; B) ÍNDICE RELATIVO DE CLOROFILA (IRC), TEOR FOLIAR DE N E ÂNGULO HUE; C) MASSA TOTAL E ÍNDICE DE QUALIDADE DE DICKSON (IQD)...	44
FIGURA 5 - ASPECTO DE MUDAS DE <i>A. angustifolia</i> ADUBADAS COM DIFERENTES NÍVEIS DE N E DOSES FIXAS DE P (1152 mg dm^{-3}) E DE K (776 mg dm^{-3}) AOS 21 MESES DA ADUBAÇÃO.....	46
FIGURA 6 - CONTRASTE DE MUDAS DE <i>A. angustifolia</i> AOS 21 MESES DA ADUBAÇÃO: SEM O FORNECIMENTO DE N (ESQUERDA) E COM O FORNECIMENTO DE 2800 mg dm^{-3} DE N (DIREITA).....	47
FIGURA 7 - EFEITO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NO CRESCIMENTO DE MUDAS DE <i>A. angustifolia</i> MANTIDAS EM VASOS: A e B) CURVAS DE CRESCIMENTO EM ALTURA E DIÂMETRO OBTIDAS DE 11 MEDIÇÕES NO PERÍODO DE 526 DIAS APÓS A ADUBAÇÃO; C) ALTURA E DIÂMETRO DE MUDAS COM 21 MESES DE IDADE.....	49

FIGURA 8 -	EFEITO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NA PRODUÇÃO DE MASSA SECA E PARÂMETROS DE QUALIDADE EM MUDAS DE <i>A. angustifolia</i> DE 21 MESES DE IDADE MANTIDAS EM VASOS.....	50
FIGURA 9 -	ASPECTO DE MUDAS DE <i>A. angustifolia</i> ADUBADAS COM DIFERENTES NÍVEIS DE P E DOSES FIXAS DE N (1400 mg dm ⁻³) E DE K (776 mg dm ⁻³), AOS 21 MESES DA ADUBAÇÃO.....	54
FIGURA 10 -	ASPECTO DE MUDAS DE <i>A. angustifolia</i> ADUBADAS COM DIFERENTES NÍVEIS DE K E DOSES FIXAS DE P (1152 mg dm ⁻³) E DE N (700 mg dm ⁻³).....	56
FIGURA 11 -	CONCENTRAÇÃO RELATIVA (%) DE FÓSFORO (A), POTÁSSIO (B) E CÁLCIO (C) NA EPIDERMIS ADAXIAL (AdE), MESÓFILO PALIÇÁDICO (PM), MESÓFILO ESPONJOSO (SM) E EPIDERMIS ABAXIAL (AbE) DE ACÍCULAS DE <i>A. angustifolia</i> CULTIVADA COM BAIXA DISPONIBILIDADE DE P (- P), K (- K) E TRATAMENTO CONTROLE COM ALTA DISPONIBILIDADE DE P E K NO SOLO (CON).....	58
FIGURA 12 -	CONCENTRAÇÃO RELATIVA (%) DE CARBONO (A), OXIGÊNIO (B), ENXOFRE (C) E ALUMÍNIO (D) NA EPIDERMIS ADAXIAL (AdE), MESÓFILO PALIÇÁDICO (PM), MESÓFILO ESPONJOSO (SM) E EPIDERMIS ABAXIAL (AbE) DE ACÍCULAS DE <i>A. angustifolia</i> CULTIVADA COM BAIXA DISPONIBILIDADE DE P (- P), K (- K) E TRATAMENTO CONTROLE COM ALTA DISPONIBILIDADE DE P E K NO SOLO (CON).....	60
FIGURA 13 -	FOTOMICROGRAFIAS DE ACÍCULAS (EM CORTE TRANSVERSAL) DE <i>A. angustifolia</i> CULTIVADA COM BAIXA DISPONIBILIDADE DE P (A; D), K (B; E) E TRATAMENTO CONTROLE COM ALTA DISPONIBILIDADE DE PK NO SOLO (C; F). A, B, C: FOTOMICROGRAFIAS OBTIDAS COM MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA EM BAIXO VÁCUO. D, E, F: SÃO AS MESMAS FOTOMICROGRAFIAS A, B, C COM DIMINUIÇÃO DE BRILHO (- 40%) E AUMENTO DE CONTRASTE (80%).....	61
FIGURA 14 -	FOTOMICROGRAFIAS DA REGIÃO DO MESÓFILO DE ACÍCULAS DE <i>A. angustifolia</i> CULTIVADA COM BAIXA DISPONIBILIDADE DE P (A; D), K (B; E) E TRATAMENTO CONTROLE COM ALTA DISPONIBILIDADE DE PK NO SOLO (C; F). A, B, C: FOTOMICROGRAFIAS OBTIDAS COM MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA EM BAIXO VÁCUO. D, E, F: SÃO AS MESMAS FOTOMICROGRAFIAS A, B, C COM DIMINUIÇÃO DE BRILHO (- 40%) E AUMENTO DE CONTRASTE (80%). AS INDICAÇÕES DE SPECTRUM (CRISTAIS: 1, 2, 3; GRÃO DE AMIDO: 4) SÃO OS PONTOS SELECIONADOS PARA DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO ELEMENTAR.....	62

4 TROPISMO E MORFOLOGIA DOS RAMOS PRIMÁRIOS NA ENXERTIA DA *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. KTZE.

FIGURA 1 -	COLETA DE PROPÁGULOS PLAGIOTRÓPICOS: BROTAÇÕES (EM DESTAQUE) NA PONTA DE RAMO PODADO (A); BROTAÇÕES COM APROXIMADAMENTE QUATRO MESES (B); BROTAÇÕES COM OITO MESES (C).....	78
FIGURA 2 -	TÉCNICAS DE ENXERTIA: BORBULHIA DE PLACA (A, B, C); GARFAGEM EM INGLÊS COMPLICADO (D, E, F).....	79
FIGURA 3 -	ESQUEMA DEMONSTRATIVO PARA MEDIÇÃO DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DOS ENXERTOS.....	81
FIGURA 4 -	PADRÃO PARA CLASSIFICAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO DOS ENXERTOS: CICATRIZAÇÃO ÓTIMA (A); CICATRIZAÇÃO INTERMEDIÁRIA (B); CICATRIZAÇÃO FRACA (C).....	82

FIGURA 5 -	ARAUCÁRIAS ENXERTADAS COM PROPÁGULOS PLAGIOTRÓPICOS MANTIDAS EM VASOS: A) CRESCIMENTO PLAGIOTRÓPICO (ESQUERDA), CRESCIMENTO ORTOTRÓPICO (DIREITA); B) RAMOS (GRIMPA) COM TEMPO DE VIDA DETERMINADO SECANDO NA BASE DO ENXERTO; C) PLANTAS COM CRESCIMENTO VERTICAL (ORTOTRÓPICO); D) COMPATIBILIDADE EM DIÂMETRO E QUALIDADE DA CICATRIZAÇÃO EM ENXERTO DE TRÊS ANOS.....	85
FIGURA 6 -	ARAUCÁRIAS ENXERTADAS COM PROPÁGULOS PLAGIOTRÓPICOS APRESENTANDO CRESCIMENTO VERTICAL (A, C, D); ENXERTIA POR GARFAGEM COM INCLINAÇÃO DO ENXERTO (B - ESQUERDA).....	86
FIGURA 7 -	EFEITO DA IDADE DO ENXERTO SOBRE OS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO (COMPRIMENTO, ÂNGULO DE CRESCIMENTO E ÍNDICE DE COMPATIBILIDADE) NA ENXERTIA COM PROPÁGULOS PLAGIOTRÓPICOS.....	87
FIGURA 8 -	BORBULHIA DE PLACA: (A e B) ENXERTOS DE ORIGEM PLAGIOTRÓPICA APRESENTANDO CRESCIMENTO INICIAL INCLINADO (ESQUERDA) E BROTAÇÃO VIGOROSA COM CRESCIMENTO TENDENDO PARA VERTICAL (DIREITA); (C e D) ENXERTOS DE ORIGEM ORTOTRÓPICA COM CRESCIMENTO VERTICAL.....	88
FIGURA 9 -	BROTAÇÕES DE RAMO PRIMÁRIO PODADO (A); PLANTAS ENXERTADAS COM PROPÁGULOS OBTIDOS DE BROTAÇÕES DE RAMOS PODADOS DEMONSTRANDO CRESCIMENTO VERTICAL (B e C).....	90
FIGURA 10 -	ARAUCÁRIA PROPAGADA POR SEMENTE (A) E POR ENXERTIA COM PROPÁGULO PLAGIOTRÓPICO OBTIDO DE BROTAÇÃO DA PONTA DE RAMO PRIMÁRIO PODADO (B), COM APROXIMADAMENTE QUATRO ANOS.....	91
FIGURA 11 -	PROCESSO DE INCOMPATIBILIDADE EM DIÂMETROS NA ARAUCÁRIA ENXERTADA COM PROPÁGULOS OBTIDOS DE RAMOS PLAGIOTRÓPICOS.....	92

5 ENXERTIA DE PROPÁGULOS TRUNCIFORMES NOS RAMOS DE *Araucaria angustifolia* PARA MULTIPLICAÇÃO DE MATRIZES

FIGURA 1 -	PADRÃO PARA CLASSIFICAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO DOS ENXERTOS: CICATRIZAÇÃO ÓTIMA (A); CICATRIZAÇÃO INTERMEDIÁRIA (B); CICATRIZAÇÃO FRACA (C).....	102
FIGURA 2 -	ENXERTOS DE BORBULHAS DE TRONCO EM RAMOS PLAGIOTRÓPICOS DE <i>Araucaria angustifolia</i> : A) RAMO DO PRIMEIRO VERTICILLO SUPERIOR RECÉM-ENXERTADO; B) BROTAÇÃO COM CRESCIMENTO ORTOTRÓPICO; C) BROTAÇÃO COM CRESCIMENTO VERTICAL APRESENTANDO RAMIFICAÇÃO EM VERTICILLOS; D) RAMOS DO SEGUNDO VERTICILLO SUPERIOR RECÉM-ENXERTADOS; E) CRESCIMENTO DE ENXERTOS EM RAMOS DO SEGUNDO VERTICILLO; F) CRESCIMENTO DE ENXERTOS EM RAMOS DO TERCEIRO VERTICILLO APRESENTANDO LEVE INCLINAÇÃO; G) ENXERTOS EM RAMOS DO TERCEIRO VERTICILLO COM SINAIS DE INIBIÇÃO DE CRESCIMENTO; H e I) BROTAÇÕES COM GEOTROPISMO NEGATIVO EM ENXERTOS POSICIONADOS NA PARTE INFERIOR DOS RAMOS; J) CRESCIMENTO ORTOTRÓPICO DA BROTAÇÃO DE ENXERTO COM PROPÁGULO DE TRONCO E CRESCIMENTO PLAGIOTRÓPICO DA BROTAÇÃO DO RAMO PODADO; K e L) BROTAÇÕES DE ENXERTOS COM PROPÁGULOS DE TRONCO SOBRE RAMOS PLAGIOTRÓPICOS DE ARAUCÁRIA APTAS PARA FORNECIMENTO DE BORBULHAS VIÁVEIS.....	106
FIGURA 3 -	CRESCIMENTO INIBIDO RESULTADO DA ENXERTIA NO TERCEIRO VERTICILLO.....	108

LISTA DE TABELA

3 CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE *Araucaria angustifolia* SUBMETIDAS A NÍVEIS DE NPK E O EFEITO NA DISTRIBUIÇÃO DE ELEMENTOS EM ACÍCULAS

TABELA 1 -	GRANULOMETRIA E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO UTILIZADO COMO SUBSTRATO.....	37
TABELA 2 -	EFEITO DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA NO CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE <i>A. angustifolia</i> MANTIDAS EM VASO AOS 21 MESES DA ADUBAÇÃO.....	55
TABELA 3 -	MÉDIA E DESVIO PADRÃO DA CONCENTRAÇÃO DE ELEMENTOS EM ACÍCULAS DE MUDAS DE <i>A. angustifolia</i> CULTIVADAS POR 21 MESES COM BAIXA DISPONIBILIDADE DE P (- P), K (- K) E TRATAMENTO CONTROLE COM ALTA DISPONIBILIDADE DE P E K NO SOLO (CONTROLE).....	57
TABELA 4 -	COMPOSIÇÃO ELEMENTAR RELATIVA (%) DE CRISTAIS ESTRUTURAIS ENCONTRADOS NO MESÓFILO DE ACÍCULAS DE <i>A. angustifolia</i> CULTIVADA COM BAIXA DISPONIBILIDADE DE P (-P), K (-K) E TRATAMENTO CONTROLE COM ALTA DISPONIBILIDADE DE P E K NO SOLO.....	63

4 TROPISMO E MORFOLOGIA DOS RAMOS PRIMÁRIOS NA ENXERTIA DA *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. KTZE.

TABELA 1 -	RELAÇÃO DE ENXERTOS COM PROPÁGULOS PLAGIOTRÓPICOS POR ANO E POR TÉCNICA DE ENXERTIA.....	80
TABELA 2 -	RESUMO DESCRITIVO PARA DADOS DE CRESCIMENTO DE ENXERTOS AOS TRÊS ANOS DA ENXERTIA POR GARFAGEM E BORBULHIA DE PLACA.....	83
TABELA 3 -	TABELA DE DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIAS DE ÂNGULOS DE CRESCIMENTO DE ENXERTOS DE ORIGEM PLAGIOTRÓPICA COM TRÊS ANOS.....	84

5 ENXERTIA DE PROPÁGULOS TRUNCIFORMES NOS RAMOS DE *Araucaria angustifolia* PARA MULTIPLICAÇÃO DE MATRIZES

TABELA 1 -	CRESCIMENTO E QUALIDADE DA CICARIZAÇÃO NA ENXERTIA DE RAMOS PLAGIOTRÓPICOS DE <i>A. angustifolia</i> A PARTIR DE PROPÁGULOS DE TRONCO, 180 DIAS APÓS A ENXERTIA.....	103
------------	--	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BRDE	- Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul
CIRAD	- Centro de Cooperação Internacional em Pesquisa Agronômica para o Desenvolvimento
GERDAT	- Grupo de Estudo e Pesquisa para o Desenvolvimento da Agricultura Tropical
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IQD	- Índice de Qualidade de Dickson
IRC	- Índice Relativo de Clorofila
IUCN	- International Union for Conservation of Nature and Natural Resources
MMA	- Ministério do Meio Ambiente

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	16
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1	A FLORESTA COM ARAUCÁRIA.....	18
2.2	ORIGEM E TAXONOMIA DA <i>A. angustifolia</i>	20
2.3	ASPECTOS ECOLÓGICOS E AGRONÔMICOS PARA O CULTIVO DA <i>A. angustifolia</i>	21
2.4	CRESCIMENTO, ARQUITETURA DE COPA E TROPISMO DA <i>A. angustifolia</i>	26
2.5	PRODUÇÃO DE MUDAS DE <i>A. angustifolia</i>	29
2.5.1	Propagação por sementes.....	29
2.5.2	Propagação vegetativa.....	30
3	CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE <i>Araucaria angustifolia</i> SUBMETIDAS À NÍVEIS DE NPK E O EFEITO NA DISTRIBUIÇÃO DE ELEMENTOS EM ACÍCULAS.....	33
	RESUMO.....	33
	ABSTRACT.....	34
3.1	INTRODUÇÃO.....	35
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3.3	RESULTADOS: ADUBAÇÃO NITROGENADA.....	42
3.4	DISCUSSÃO: ADUBAÇÃO NITROGENADA.....	45
3.5	RESULTADOS: ADUBAÇÃO FOSFATADA.....	48
3.6	DISCUSSÃO: ADUBAÇÃO FOSFATADA.....	51
3.7	RESULTADOS: ADUBAÇÃO POTÁSSICA.....	55
3.8	DISCUSSÃO: ADUBAÇÃO POTÁSSICA.....	55
3.9	RESULTADOS E DISCUSSÃO: DISTRIBUIÇÃO DE ELEMENTOS EM ACÍCULAS DE ARAUCÁRIA.....	57
3.10	CONCLUSÕES: ADUBAÇÃO NITROGENADA.....	65
3.11	CONCLUSÕES: ADUBAÇÃO FOSFATADA.....	65
3.12	CONCLUSÕES: ADUBAÇÃO POTÁSSICA.....	66
3.13	CONCLUSÃO: DISTRIBUIÇÃO DE ELEMENTOS EM ACÍCULAS DE ARAUCÁRIA.....	66

REFERÊNCIAS.....	67
4 TROPISMO E MORFOLOGIA DOS RAMOS PRIMÁRIOS NA ENXERTIA	
DA <i>Araucaria angustifolia</i> (BERT.) O. KTZE.....	74
RESUMO.....	74
ABSTRACT.....	75
4.1 INTRODUÇÃO.....	76
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	78
4.2.1 Enxertia por borbulhia de placa.....	79
4.2.2 Enxertia por garfagem (Inglês complicado).....	80
4.2.3 Avaliação do crescimento na enxertia por garfagem e borbulhia de placa.....	81
4.2.4 Avaliação do crescimento em função da idade do enxerto.....	82
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	82
4.4 CONCLUSÕES.....	93
REFERÊNCIAS.....	94
5 ENXERTIA DE PROPÁGULOS TRUNCIFORMES NOS RAMOS DE	
<i>Araucaria angustifolia</i> PARA MULTIPLICAÇÃO DE MATRIZES.....	97
RESUMO.....	97
ABSTRACT.....	98
5.1 INTRODUÇÃO.....	99
5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	101
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	103
5.4 CONCLUSÃO.....	109
REFERÊNCIAS.....	110
6 CONCLUSÕES GERAIS.....	113
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	115
REFERÊNCIAS.....	118
ANEXOS.....	128

1 INTRODUÇÃO GERAL

A *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. é a espécie arbórea dominante da Floresta Ombrófila Mista ou Floresta com Araucária. De aproximadamente 200 mil km² de área ocupada originalmente com a Floresta Ombrófila Mista (REITZ; KLEIN, 1966; HUECK, 1972), restavam de acordo com Castella e Britez (2004) cerca de 10% de florestas fortemente exploradas e de 1 a 2% de áreas originais cobertas pela Floresta com Araucária. Ainda segundo estes autores, no Paraná, as florestas primárias ou intocadas não existem mais. Atualmente, a *A. angustifolia* é reconhecida como espécie da flora brasileira criticamente ameaçada de extinção (IUCN, 2013). As iniciativas de plantios tem sido insignificantes, provavelmente influenciadas pela legislação atual que restringe seu corte e pelo lento crescimento da espécie na fase juvenil, devido provavelmente à baixa fertilidade e profundidade do solo (CARVALHO, 2003).

É preciso alinhar a silvicultura moderna às exigências do mercado consumidor de produtos florestais através da disponibilização de genótipos com características superiores e específicas (WENDLING et al., 2009), preferencialmente com informações sobre suas necessidades nutricionais. Talvez assim o produtor se sinta animado em plantar a araucária.

Apesar da importância socioeconômica e ambiental da araucária, ainda não se tem um programa de melhoramento em estágio avançado, visando maior produtividade, qualidade da madeira e produção de pinhões (SOUZA; AGUIAR, 2012).

A maioria dos estudos que dizem respeito à propagação de espécies florestais nativas brasileiras está relacionada à propagação sexuada, pela própria ausência de informações silviculturais das espécies e pelo maior domínio operacional e menores custos iniciais dessa técnica. Porém, o uso dessa forma de propagação tem limitado a produção comercial de mudas, visto que as sementes de algumas espécies são recalcitrantes (CARVALHO, 2003). Em adição, a dificuldade no controle sobre algumas características de interesse, como por exemplo, definição do sexo, porte da planta, capacidade produtiva, entre outras, torna este método de propagação limitado para a araucária, principalmente quando a proposta é estimular o plantio visando retorno econômico.

Trabalhos mais recentes com a propagação vegetativa da araucária por estaquia (WENDLING; BRONDANI, 2015) e enxertia (ZANETTE; OLIVEIRA; BIASI, 2011; WENDLING, 2011, 2015), tem mostrado resultados que configuram uma alternativa à produção de mudas por sementes. Estes métodos permitem clonar a planta matriz,

preservando determinadas características de interesse desta planta, portanto, apresentando potencial para auxiliar na conservação da espécie, na produção de pinhões e madeira.

Métodos eficientes de resgate e rejuvenescimento de material adulto da araucária e predominância de ramos plagiotrópicos têm sido apontados como alguns fatores limitantes para a adoção da estaquia em escala comercial (WENDLING et al., 2009). Com relação a enxertia em araucária, os primeiros trabalhos já apontavam o plagiotropismo dos ramos como principal limitador na aplicação da técnica (GURGEL; GURGEL FILHO, 1967; KAGEYAMA; FERREIRA, 1975).

Propágulos obtidos a partir de ramos propiciam plantas com crescimento inclinado. Apenas propágulos de origem ortotrópica desenvolvem copa normal, portanto são os indicados para a enxertia em araucária (WENDLING et al., 2009; ZANETTE; OLIVEIRA; BIASI, 2011), que deve ser realizada, preferencialmente, pelas seguintes técnicas de enxertia, garfagem em fenda cheia no topo do cavalo e borbúlia de placa (WENDLING, 2011; ZANETTE; OLIVEIRA; BIASI, 2011). No entanto, propágulos de origem ortotrópica são escassos, limitando a aplicação intensiva desta técnica de propagação vegetativa em araucárias.

Trabalhando com a enxertia de ramos primários e secundários de Fraser Fir (*Abies fraseri*), Hibbert-Frey et al (2011) reportaram crescimento plagiotrópico na primeira estação de crescimento e crescimento ortotrópico no ano seguinte, evidenciando a possibilidade da mudança de tropismo na espécie. Diferente desta conífera não foi encontrado trabalho na literatura relacionado à mudança de tropismo na *A. angustifolia*, caracterizando uma atividade morfogênica pouco compreendida até o momento. Assim, os objetivos gerais do presente trabalho foram: avaliar a resposta da araucária à adubação; verificar a capacidade de mudança do tropismo e as características morfológicas de enxertos plagiotrópicos e verificar o potencial de multiplicação de borbúlias ortotrópicas na enxertia em ramos da espécie. Consequentemente, os objetivos específicos foram: (1) verificar os sintomas de deficiência nutricional na araucária; (2) estabelecer a dose de N, P e K para o maior crescimento e qualidade de mudas de araucária, bem como avaliar a distribuição de elementos/nutrientes em suas acículas; (3) verificar o crescimento, a cicatrização e a possibilidade de mudança do tropismo de enxertos plagiotrópicos sendo empregadas duas técnicas de enxertia em araucária e caracterizar a copa resultante; (4) avaliar o pegamento, a cicatrização, o crescimento e o potencial de multiplicação de borbúlias na enxertia de propágulos ortotrópicos sobre ramos da araucária.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A FLORESTA COM ARAUCÁRIA

Também conhecida por Floresta Ombrófila Mista (FOM), Pinheiral ou Pinhal, essa formação florestal ocorre em região de clima ombrófilo, com temperatura média de 18°C, sendo registradas, no inverno, médias inferiores a 15°C (IBGE, 1997). Caracteriza-se pela coexistência de representantes da flora de *Coniferales* e *Laurales* e pela área de dispersão natural do pinheiro-brasileiro (*Araucaria angustifolia*) (LEITE; KLEIN, 1990).

A área mais típica e representativa da Floresta Ombrófila Mista, é aquela das altitudes superiores aos 800 metros. Sob as condições climáticas citadas anteriormente e, de acordo com a diversificação de outros parâmetros ambientais, podem-se determinar dois grupos distintos de comunidades: 1) onde a *A. angustifolia* se distribui de forma esparsa por sobre bosque contínuo, no qual aparecem de forma significativa a imbuia (*Ocotea porosa*), a canela-amarela (*Nectandra lanceolata*), a canela-preta (*Nectandra megapotamica*), a guabirobeira (*Campomanesia xanthocarpa*) e a erva-mate (*Ilex paraguariensis*); 2) onde a *A. angustifolia* forma estrato superior bastante denso sobre estrato composto, basicamente, por: canela-lageana (*Ocotea pulchella*), canela-amarela (*Nectandra lanceolata*), canela-guaica (*Ocotea puberula*), pinheiro-bravo (*Podocarpus lambertii*), pimenteira (*Capsicodendron dinisii*), e diversas espécies de Myrtaceae e Aquifoliaceae (MMA, 2011; KERSTEN; BORGO; GALVÃO, 2015) (FIGURA 1).

A Floresta Ombrófila Mista ocupava originalmente cerca de 196.500 km² ocorrendo majoritariamente na região Sul do Brasil, mas também sendo encontrada no leste e sul do estado de São Paulo, sul do estado de Minas Gerais, principalmente na Serra da Mantiqueira, na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro e em pequenos trechos da Argentina, em formações florestais situadas em altitudes que variam de 200 m no extremo sul do Brasil até superiores a 1500 m na Serra da Mantiqueira (HUECK, 1953) (FIGURA 2).



FIGURA 1 – FLORESTA OMBRÓFILA MISTA: UNIDADE FITOGEOGRÁFICA CONTENDO GIMNOSPERMAS E ANGIOSPERMAS, COM DESTAQUE PARA AS ARAUCÁRIAS EM ESTÁGIO AVANÇADO DE REGENERAÇÃO (MUNICÍPIO DE FERNANDES PINHEIRO, PR, BRASIL).

FONTE: Pablo M. Hoffmann (2007).

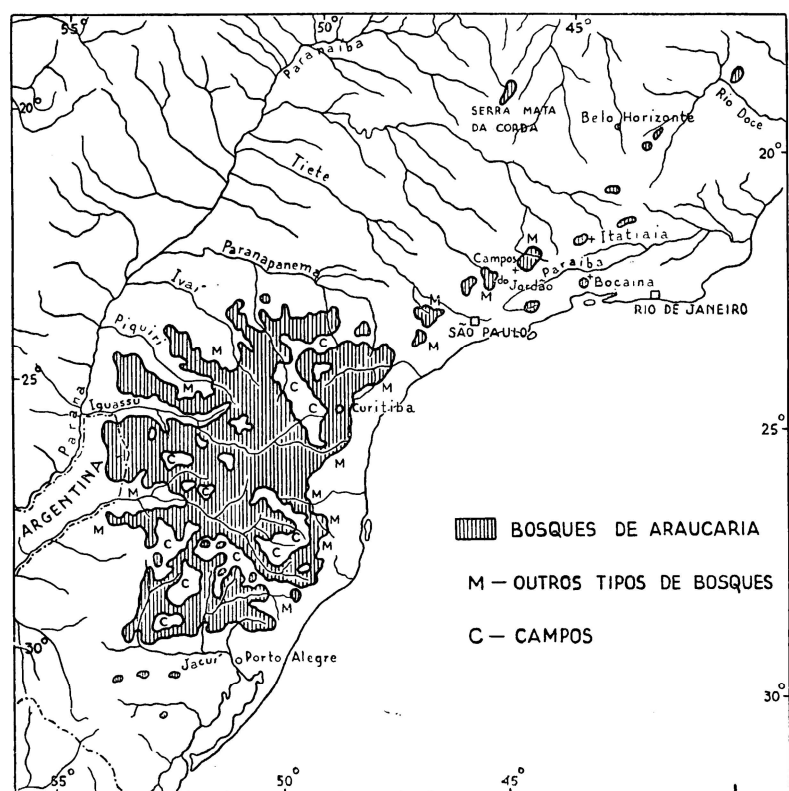


FIGURA 2 – ÁREA DE DISTRIBUIÇÃO ORIGINAL DA *A. angustifolia*.

FONTE: Hueck (1953).

Infelizmente, o histórico de desmatamento da Floresta com Araucária é alarmante, sendo esta a tipologia mais ameaçada do país (CARLUCCI et al., 2011). Considerada o principal produto florestal do Brasil durante décadas, a exportação da araucária atingiu perto

de um milhão de metros cúbicos de toras anualmente, durante a década de 1970 (HUECK, 1972). Paralelamente a exploração, ocorria no Brasil a introdução do pínus e do eucalipto destinados para fins madeireiros e produção de celulose. Exóticas, estas espécies se tornaram mais atrativas em função do melhoramento genético, acabando por substituir a araucária. O crescimento lento e o pouco conhecimento da biologia da espécie desestimularam as poucas iniciativas de replantio da araucária. Isto fez com que os remanescentes de araucárias fossem explorados até quase a exaustão.

Na literatura são citados dados preocupantes sobre os remanescentes de araucária. Segundo o MMA (2002), naquela época tinha sido estimado que os remanescentes de Floresta Ombrófila Mista, nos estágios primários ou mesmo avançados, não perfaziam mais de 0,7% da área original, o que a colocava entre as tipologias mais ameaçadas do Bioma Mata Atlântica. Na mesma época também houve registro de áreas originais cobertas pela floresta com araucária perfazendo entre 1 a 2% nos três Estados do Sul (KOCH; CORRÊA, 2002). No Paraná, Estado que abrigava grande parte desta tipologia os estudos realizados pelo PROBIO Araucária (CASTELLA, 2001), indicavam a ocorrência de apenas 0,8% de Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado, sendo que a distribuição espacial desses remanescentes apresenta-se dispersa em fragmentos pequenos e médios, não superior a 5.000 ha. Três anos mais tarde, segundo Castella e Britez (2004), não existiam mais áreas intocadas e os 0,3% de bons remanescentes eram florestas secundárias avançadas ou primárias alteradas. Atualmente estes números podem ser ainda menores, pois a derrubada, mesmo que proibida, ainda acontece de maneira clandestina. A maior parte do que sobrou são fragmentos pequenos, isolados, fortemente impactados e pouco representativos da floresta original com araucária.

2.2 ORIGEM E TAXONOMIA DA *A. angustifolia*

O gênero *Araucaria* L. Jussieu, cuja origem remonta há mais de 200 milhões de anos, é composto por 19 espécies de ocorrências restritas ao hemisfério Sul, na Austrália, Papua Nova Guiné, Nova Caledônia, Vanuatu, Ilha Norfolk, Brasil, Chile e Argentina (NIMSCH, 2011). A *A. angustifolia* é a única representante da família Araucariaceae que se desenvolve naturalmente no Brasil (MARCHIORI, 1996). Segundo Nimsch (2011), a araucária se originou no início do período Jurássico, há 200 milhões de anos e sua ocorrência primitiva diverge bastante da atual, sendo encontrados fósseis no Nordeste brasileiro. Sua

expansão para o sul é recente, ocorrendo durante o Pleistoceno tardio e Holoceno inicial, possivelmente resultado de uma mudança climática e de migrações de floras refugiadas nos vales das serras através dos cursos dos rios e, provavelmente, associada com o uso indígena.

A *A. angustifolia* possui uma ampla área de distribuição, contribuindo para que a espécie se diferencie em raças locais ou ecotipos (GURGEL; GURGEL FILHO, 1965), descritos por Reitz e Klein (1966) em variedades, a saber: *A. angustifolia*: elegans, sancti josephi, angustifolia, caiová, indehiscens, nigra, striata, semi-alba e Alba. Considerada uma conífera típica do planalto meridional brasileiro e de maior expressão da flora nacional, a espécie também é conhecida pelos nomes comuns, pinheiro-do-paraná, pinheiro-brasileiro ou simplesmente araucária (SANQUETTA et al., 2014). Também é conhecida como pinheiro-branco, pinheiro-chorão, curiúva, pinheiro-elegante, pinheiro-de-ponta-branca, pinheiro-preto, pinheiro-rajado, pinheiro-são-José, pinheiro-macaco, pinheiro-caiová, pinheiro-das-missões. Os índios a chamavam Curi; no comércio internacional, chamam-na de Brazilian pine ou Paraná pine.

Foi descrita inicialmente como *Columbea angustifolia* por G. Bertolini em 1819; *Araucaria brasiliensis* por A. Richard, em 1822. Hoje sua denominação oficial é *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze 1898 (SOARES; MOTA, 2004). Seu nome genérico é derivado de Arauco (região do Chile), e seu nome específico é uma palavra latina que significa "folha estreita" (CARVALHO, 2003). Pertence à ordem Coniferae, classe Coniferopsida, família Araucariaceae (LORENZI, 2002).

2.3 ASPECTOS ECOLÓGICOS E AGRONÔMICOS PARA O CULTIVO DA *A. angustifolia*.

Estudos florísticos e fitossociológicos realizados em remanescentes dentro dos domínios de ocorrência da Floresta Ombrófila Mista denotam que a araucária é o elemento que caracteriza uma vegetação arbórea composta por quase uma centena de espécies, onde se destacam pela abundância e diversidade as famílias Myrtaceae e Lauraceae (KOEHLER; PÉLLICO-NETTO; SANQUETTA, 1998). As espécies são classificadas em: pioneiras, secundárias iniciais, secundárias tardias ou longevas, e, clímax. Com base nesta classificação, a araucária é uma espécie secundária longeva, porém, de temperamento pioneiro (SOARES; MOTA, 2004). Carvalho (1994), porém, descreve a araucária como uma espécie pioneira e heliófila, avançando e irradiando-se sobre os campos de modo a formar continuamente novos

capões, cuja composição varia de acordo com condições edáficas e climáticas. Por sua vez, Souza et al. (2008) classificam a araucária como “pioneira de vida longa” que precisa de grandes clareiras para atingir o estágio adulto. Considerada longeva e heliófila nas fases adulta e juvenil, a araucária pode alcançar até três metros de diâmetro e 50 m de altura (BACKES; NILSON, 1983).

Alguns trabalhos alertam para a incapacidade da araucária de se manter em processo regenerativo na floresta fechada, uma vez que a espécie tem problemas para sobreviver e crescer sob cobertura, embora suas sementes possam germinar razoavelmente (SANQUETTA, 2003; ZANETTE, 2016). As mudas de araucária têm suas necessidades supridas pela semente por cerca de 100 dias após a germinação e o hipocótilo serve como dreno e depósito das reservas das sementes neste estágio (DILLENBURG; ROSA; MÓSENA, 2010). Portanto, depois deste período a planta precisa de luz para sintetizar os compostos necessários para seu crescimento e desenvolvimento. A abertura do dossel pode favorecer o desenvolvimento das plantas, até então inibida pela falta de luz (GUILHERME, 2000).

Tendo em vista a restrição ambiental, a mortalidade de árvores com idade avançada tem sido o principal facilitador da abertura do dossel e, conseqüentemente, o principal agente recrutador dentro da floresta com araucária, pois estimula à regeneração natural, favorece o crescimento das árvores remanescentes e diminui as taxas de mortalidade natural na floresta (SANQUETTA, 2008). No entanto, esse processo pode ser demorado ou insuficiente para promover o crescimento e desenvolvimento da maioria das plantas candidatas ao recrutamento. Nesse caso, o manejo florestal é um importante instrumento para auxiliar na perpetuação da araucária, embora seja restrito em função da legislação atual. Nesse sentido, os plantios se tornam ainda mais importantes para perpetuação da espécie.

O plantio de araucária de forma extensiva teve início ainda na primeira metade do século XX. Há relatos de um plantio efetuado em 1928 pela Companhia Melhoramentos. Segundo Sanquetta e Mattei (2006) existem plantios antigos mantidos até hoje em áreas públicas, especificamente nas Florestas Nacionais (FLONAS). Plantios das décadas de 1940 e 1950 na FLONA de Três Barras em Santa Catarina são marcas da experiência brasileira com o reflorestamento de araucária. Os autores citam ainda experiências interessantes empreendidas nas FLONAS Açungui e Irati no Paraná e São Francisco de Paula e Canela, no Rio Grande do Sul. Contudo, o cultivo da araucária não é muito comum entre as empresas de base florestal, provavelmente por seu crescimento lento e elevado custo inicial de implantação do povoamento (FUPEF, 1978) e, mais atualmente, pela legislação atual restritiva. Por essa

razão deu-se preferência por espécies exóticas de rápido crescimento (pínus e eucaliptos), sobre as quais se desenvolveram extensos programas de melhoramento genético.

A área de ocorrência natural da araucária situa-se em um clima temperado, em que a temperatura média anual varia de 13 a 18°C, caracterizando-se por verões frescos e invernos relativamente frios, com mínimas próximas a -8°C (GOLFARI, 1971). Embora a ocorrência da araucária esteja relacionada com os tipos climáticos de Köppen (Cwb, Cfb e Cfa), caracterizados por apresentarem chuvas bem distribuídas durante o ano, estes não são limitantes. No entanto, altitudes abaixo de 600 metros são consideradas críticas para a espécie (VAN GOOR, 1965b).

A floresta de *A. angustifolia* ocorre sobre variado material de origem rochas basálticas, melaíricas, graníticas, riodacitos, arenitos, diorítas e sedimentares (MATTOS, 1994; CARVALHO, 1994). Tal fato determina um variado tipo de solo e graus de fertilidade (DE HOOG, 1981).

Um dos aspectos mais problemáticos da *A. angustifolia*, como espécie para reflorestamento, está representado pelas suas elevadas exigências edáficas quanto ao aspecto físico. O sistema radicular da *A. angustifolia* tem baixa tolerância a ocorrência de horizontes compactados, porosidade limitada, horizontes com água estagnada ou lençóis freáticos altos e impedimentos mecânicos, pois essas características prejudicam o crescimento radicular (BLUM, 1977). Assim, solos rasos, com profundidade inferior a 100 cm, influenciam negativamente o crescimento, mas não impedem a regeneração natural (CARVALHO, 1994). Van Goor (1965b) indica a necessidade de profundidade mínima entre 70 a 100 cm para um bom crescimento. Outros autores confirmam grande necessidade de solo profundo para o crescimento da espécie (GOLFARI, 1967; BLUM, 1977; DE HOOG; DIETRICH, 1978, 1979; DE HOOGH, 1981). A menor produtividade da araucária em solos litólicos e gley pouco húmico em relação ao latossolo roxo pode ser explicada pela macroporosidade associada a boa drenagem e profundidade do latossolo roxo (CASSOL, 1982). Já em 1948 foi apontado que as raízes da araucária encontravam maior capacidade de penetração em solos com boa aeração (OLIVEIRA, 1948).

Quanto aos aspectos químicos a araucária ocorre em condição de elevada acidez a levemente ácido, em faixa de pH variando de 4 a 6 (CARVALHO, 1994). DE HOOGH (1981) ao avaliar 26 locais com plantio de araucária no Brasil, constatou valores de pH em água de 4,1; 4,1; 4,6 e 4,1 para camada de 0-20 cm e de 4,1; 4,2; 4,4 e 4,2 para camada de 0-100 cm, de nove solos sob basalto, seis solos sob siltito e argilito; sete solos sob granitos e

gnais e quatro solos sob arenito, respectivamente. Tal fato confirma a ausência de preocupação em relação a acidez nos plantios. Contudo, há indicações que baixos níveis de Ca e Mg e elevada saturação de Al possa limitar o crescimento da araucária (VAN GOOR, 1965a; DE HOOG; DIETRICH, 1979). Apesar disso, Scheeren et al. (2000) não constataram a influência do pH, Ca e Al do solo sobre predição de sítios de crescimento de araucária. Contudo, a baixa fertilidade natural dos solos do sul do Brasil foi apontada como a principal razão para o fracasso de projeto de implantação da araucária (IBDF, 1971).

Em termos de necessidades nutricionais, um fator a ser considerado é que o mecanismo de especificidade na nutrição mineral de plantas integra certo número de características morfológicas e anatômicas, como também processos fisiológicos e bioquímicos, resultando em diferenças na capacidade de absorção de nutrientes nas diferentes espécies (GABELMAN; LOUGHMAN, 1987). Nesse sentido, comparativamente ao *Pinus spp.* a *A. angustifolia* necessita, para um bom desenvolvimento, absorver quantidades superiores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e boro (BLUM, 1977). O autor indica a deficiência de nitrogênio como o fator que mais afeta o crescimento, seguido de fósforo, potássio, cálcio, cobre e boro. Dentre estes elementos o N e o K se destacam por serem requeridos e absorvidos em maiores quantidades (TRIPATHI; RAGHUBANSHI, 2014; ZÖRB; SENBAYRAM; PEITER, 2014; NATH; TUTEJA, 2015). Essencial para o desenvolvimento e produção de material vegetal o N é altamente móvel na planta (KRAISER et al., 2011) exercendo funções específicas na constituição de proteínas e enzimas, também participa de processos fisiológicos importantes como: fotossíntese, respiração, diferenciação celular e genética (MCALLISTER; BEATTY; GOOD, 2012; MALIK; RENGEL, 2013). Por sua vez o K tem grande importância no crescimento e metabolismo da planta (WANG; WU, 2013; ZÖRB; SENBAYRAM; PEITER, 2014), justamente porque participa na ativação enzimática, síntese de proteínas, osmorregulação, movimento estomático, fotossíntese e resistência ao estresse (MARSCHNER, 2012; WANG et al., 2015). Quando estes dois elementos estão disponíveis para espécies responsivas geralmente estas apresentam maior crescimento, aumento de área foliar e maior produção de biomassa (VIÉGAS et al., 2012). Porém, na falta destes elementos, as plantas podem apresentar sintomas sérios que, inclusive podem levá-las a morte. Retardo do crescimento, menor lançamento de folhas novas, clorose foliar, menor turgor foliar, pequena expansão celular, maior potencial osmótico e funcionamento irregular dos estômatos são alguns deles (LACERDA, 2002; MCALLISTER;

BEATTY; GOOD, 2012; WANG et al., 2015). A volatilização e lixiviação são processos que podem acarretar a perda de N e, consequentemente, sua falta no solo (ORMOND et al., 2002).

Em estudo de omissão de nutriente em areia lavada Simões e Couto (1973) constataram que a omissão de N e P, provocou maior decréscimo no crescimento da araucária do que K, Ca e Mg e S. Ainda, que a deficiência de K resultou em aumento de Ca na acícula de 7,6 para 13,5 g kg⁻¹ do tratamento completo em relação a ausência de K. Os autores constaram concentrações foliares de N, P, K, Ca, Mg, S nos valores 8,2; 2,3; 7,2; 7,6; 2,1 e 0,6 g kg⁻¹ no tratamento completo e 6,6; 1,0; 2,3; 3,2; 0,6 e 0,4 mg kg⁻¹ quando da ausência dos mesmos, respectivamente. Também indicaram como os principais sintomas de deficiência de N: o pequeno crescimento (ramos curtos, fracos e sem ramificação secundária) e a clorose (amarelecimento nas folhas mais velhas); deficiência de P: drástica redução do crescimento, acículas novas pouco desenvolvidas, mas com coloração normal, coloração parda partindo do ápice para base para folhas velhas; deficiência de K: pouca diferença em relação ao crescimento. Acículas mais velhas, menores e amarelecimento nas extremidades chegando à cor parda, no ápice.

Estudos com adubação de araucária são raros tanto a campo quanto em ambiente controlado. Sob condição controlada, Rossa et al. (2011) constatou resposta no uso de adubo de liberação lenta na formação de mudas (até 190 dias), sendo melhor resultado com aplicação de 6 kg m⁻³, com produto com 13, 6 e 16% de N, P₂O₅ e K₂O.

O N foi apontado como o fator de maior limitação do crescimento da araucária (DE HOOGH; VAN GOOR; BLUM, 1980; HOPPE, 1980; DE HOOGH, 1981). Outros autores complementam citando que além do N e K, o P também é um elemento limitante do crescimento da araucária (SIMÕES; COUTO, 1973; BLUM, 1980).

A ausência do N disponível na análise química do solo, dado pela sua elevada variação sazonal, dificulta a predição de resposta a adubação nitrogenada. Mas, por ser um grande promotor de crescimento e afetar fortemente a concentração de clorofila na folha, tanto o crescimento e concentração foliar de N, quanto a coloração pode ser utilizado na diagnose de N. Dentre as possibilidades, a diagnose visual e a diagnose foliar têm grande importância e aplicação prática na predição de N (FAQUIN, 2002). A medição por clorofilômetro e colorímetro como indicadores da necessidade de adubação nitrogenada, tem como vantagem sobre análise foliar de N, a rapidez, além de ser um método não destrutivo, barato e pode ser feito em qualquer estágio de crescimento (MAIA, 2011; AMARANTE, 2008; BLACKMER; SCHEPERS, 1994). As leituras pelo clorofilômetro correspondem ao

teor relativo de clorofila presente na folha da planta. Os valores são calculados pelo equipamento com base na quantidade de luz transmitida pela folha, em dois comprimentos de ondas, com diferentes absorbâncias da clorofila (MINOLTA, 1989).

Os teores de N nas folhas tem relação direta com a concentração de pigmentos fotossintéticos, especialmente clorofilas e a sua atividade. Uma grande parte do N presente nas folhas (50 a 70%) é integrante de enzimas que estão associadas aos cloroplastos (CHAPMAN; BARRETO, 1997). Portanto, o teor de clorofila normalmente é um indicativo do teor de N, sua quantificação auxilia na predição da disponibilidade deste elemento para as plantas (BLACKMER; SCHEPERS, 1994).

2.4 CRESCIMENTO, ARQUITETURA DE COPA E TROPISMO DA *A. angustifolia*

Diversos estudos têm sido aplicados para entender o crescimento e a produção primária das árvores com base em modelos arquitetônicos (KOEHLER, 2009). Um trabalho clássico foi desenvolvido por Hallé, Oldeman e Tomlinson (1978) para diferentes espécies de árvores. Os autores desenvolveram um sistema de classificação da arquitetura das árvores baseando-se nas combinações de unidades meristemáticas (eixos), os quais formam o tronco e suas principais ramificações. Os eixos são classificados em relação à determinação (determinado, indeterminado) e tropismo (ortotrópico, plagiotrópico). Os eixos podem derivar de outros eixos nas orientações terminal, contínua, difusa, dicotômica, rítmica, zonal, ou no caso dos eixos do tronco, basal ou abaixo do solo. Baseado nestas variáveis os autores propuseram 23 modelos arquiteturais. Por sua vez, Hallé (1999) afirma que os padrões de ramificação, o ritmo de crescimento, a orientação dos eixos de ramificação e a distribuição das partes reprodutivas são pontos chave para a determinação do modelo arquitetural de uma árvore.

A araucária é descrita como árvore de grande porte, acima de 20 metros, apresenta tronco cilíndrico, raramente bifurcado. Geralmente com seis a oito ramos dispostos em verticilos bem definidos, mais distanciados entre si na base do tronco e mais próximos, no ápice em plantas adultas. Nas árvores novas a ramificação forma uma copa piramidal que se reduz, por derrama natural, a um corimbo nas plantas adultas. Os galhos ou ramos primários são cilíndricos com até 10 m de comprimento e alcançando até mais de 22 cm de diâmetro, por vezes ramificados, curvos para cima nas pontas, sendo maiores os de verticilos inferiores. Na extremidade destes ramos há uma gema terminal produzindo o crescimento lateral

plagiotrópico e contínuo até sua queda. Nesta região também estão agrupados, de forma alternada, ramos secundários chamados grimpas ou sapés, os quais, também podem frutificar (CARVALHO, 1994), apesar de apresentarem tempo de vida determinado (em torno de cinco anos). A maioria das coníferas cresce de acordo com os modelos Massart e Rauh (ROBINSON, 2000). Porém, segundo Koehler (2009), o modelo Rauh é o que melhor representa a araucária (FIGURA 3).

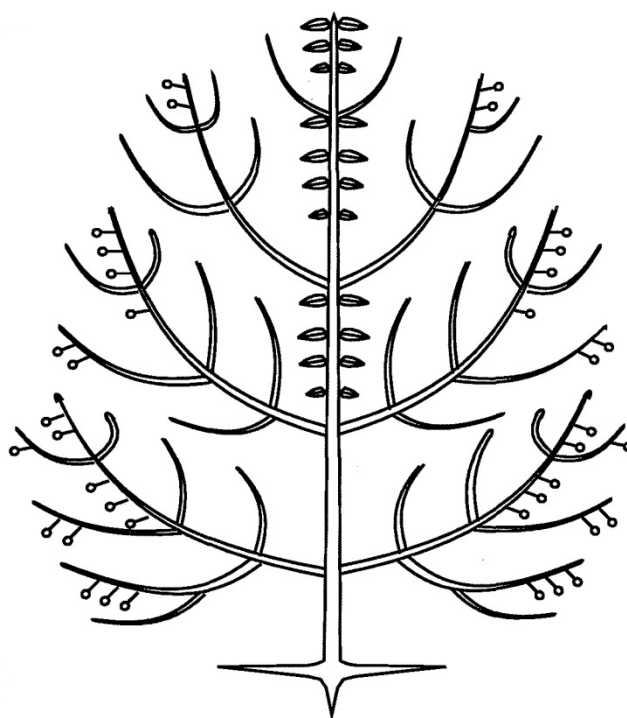


FIGURA 3 – ARQUITETURA DAS ÁRVORES DE ACORDO COM O MODELO “RAUH”.
FONTE: CIRAD / GERDAT- Unité de modélisation des Plantes (1993).

O modelo Rauh caracteriza-se pela arquitetura estabelecida a partir de um tronco ortotrópico de funcionamento apical indeterminado (monopodial), com crescimento rítmico sobre o qual os ramos têm uma disposição verticilada ou subverticilada; a filotomia é em espiral e os ramos são plagiotrópicos (HALLÉ; OLDEMAN; TOMLINSON, 1978).

De acordo com Hertel (1980) a araucária atravessa quatro fases distintas ao longo de seu desenvolvimento pós-germinação, sendo estas o puladendro (a plântula), o tirodendro (a planta atingindo a maturidade), o feroendro (planta produtiva) e o senadendro (a planta protelando a morte). O autor ainda explica que a fase tirodendrítica assume uma forma típica, cônica, cujo raio diminui harmônica e proporcionalmente à medida que a altura de inserção aumenta, resultando em uma perfeita forma cônica. Esta forma, piramidal, permanece até o início do processo de encopamento, quando o crescimento em altura do eixo vertical se reduz,

modificando a silhueta da árvore. É aí que se tem o início da fase ferodêndrica da árvore, quando ocorre a completa abscisão dos galhos mais baixos e a copa assume a forma de uma umbela. Na fase de senadendro a árvore apresenta a forma de copa semelhante a uma taça, ou cálice. De acordo com Seitz (1986), quando a árvore atinge esta fase é um sinal de declínio de sua vitalidade. Esta conformação arquitetural é abreviada quando a planta cresce em sítios pobres, podendo ocorrer mesmo antes dos vinte anos de idade, ainda que a altura da árvore seja relativamente baixa.

De acordo com Hertel (1980), há uma pequena elevação do nível de emissão dos galhos em araucária constituindo uma sequência em espiral ascendente, não formando, portanto, um verticilo propriamente dito. A formação do caule evidencia que o caráter monopodial da planta se dá desde a fase puladêndrica. Inicialmente o verticilo ou pseudo-verticilo é configurado por um ou dois ramos, com o aumento da idade da planta pode chegar a oito ramos. De acordo com o mesmo autor, a araucária não é uma planta de crescimento monopodial típico, mas sim simpodial com camuflagem monopodial. Na fase puladendro o crescimento é monopodial, a partir daí, na fase tirodendro, o aumento no número de galhos por “verticilo” implica no aumento da altura destes e que o fato do plano de tomia (ramificação) girar ao longo do eixo principal repercute na diferenciação celular em uma linha espiral. Portanto, a árvore apresenta um efeito monopodial, embora seja de fato simpodial monopodializada.

Da mesma forma que a araucária, outras coníferas como *Abies nordmanniana* tem um tronco vertical ortotrópico e ramos plagiotrópicos que se desenvolvem simetricamente ao redor. Ramos plagiotrópicos naquela espécie são mais pronunciados que na maioria das coníferas (VEIERSKOV et al., 2007). De acordo com aqueles autores um ramo de *A. nordmanniana* enxertado sobre o tronco permanece como ramo por muito tempo. Esse comportamento também é verificado na araucária.

Não se conhecem os mecanismos que levam o meristema apical do caule a formar gema axilar ortotrópica ou plagiotrópica. Sabe-se que esse fenômeno se caracteriza por uma diferenciação somática, que na maioria dos casos é permanente, podendo, por meio da multiplicação vegetativa, propagar as duas diferentes formas (GURGEL-FILHO, 1980). Por outro lado, as mudanças ambientais, nutricionais e hormonais podem causar mudanças fisiológicas e morfológicas, temporárias ou permanentes (IRITANI; ZANETTE; CISLINSKI, 1992).

Alguns autores acreditam que um sistema diferente daquele que controla naturalmente o broto vertical é o responsável pelo crescimento inclinado dos ramos e não descartam o envolvimento da auxina e também citocinina, giberelina e ácido abscísico na inclinação e no crescimento plagiotrópico destes ramos (ALONI et al., 2004; COX et al., 2004; LAMOTTE; PICKARD, 2004).

O crescimento plagiotrópico é muito comum em plantas que possuem dominância apical. Nesse sentido, os ramos plagiotrópicos de *Araucariaceae* podem ser mais ou menos horizontalizados. Em *A. excelsa*, os ramos apresentavam crescimento mais horizontal quando comparados com os ramos de *A. cunninghamii* e *A. robusta*. Logo, concluiu-se que esta diferença do plagiotropismo dos ramos ocorreu devido a uma dominância apical mais pronunciada em *A. excelsa* (NIKLES, 1961). Quanto mais evidente a dominância apical da planta, maior será o crescimento plagiotrópico. Este fato pode ser confirmado com a *A. angustifolia*, que apresenta uma forte dominância apical e um plagiotropismo bem caracterizado, com ramos formando ângulo de 90 graus com o eixo principal (OLIVEIRA, 2010).

2.5 PRODUÇÃO DE MUDAS DE *A. angustifolia*

2.5.1 Propagação por sementes

A araucária é propagada predominantemente por sementes. De acordo com Bandel e Gurgel (1967) e Figueiredo Filho et al. (2011), a proporção entre macho e fêmeas, tanto na floresta natural, como em povoamentos é muito próxima a 50% cada, destas, muitas ainda não atingiram a fase reprodutiva em função da idade, portanto, não produzem pinhões ou estróbilos masculinos.

Apesar de árvores isoladas iniciarem a produção de sementes entre 10 e 15 anos e em povoamentos a partir de 20 anos (CARVALHO, 1994), e permanecerem por mais de 200 anos em produção (MATTOS, 1972), a produção de mudas por sementes é limitada a poucos meses do ano, época em que ocorre a maturação das sementes, entre abril a setembro (ANSELMINI, 2005) e também pela ciclicidade das safras de pinhões (MATTOS, 1994). A característica recalcitrante das sementes da araucária é outra limitação para a propagação seminal, ou seja, as sementes perdem sua viabilidade rapidamente (EIRA et al., 1994, AMARANTE, et al., 2007).

Para produção de mudas de qualidade, o primeiro passo é a seleção das melhores sementes das melhores árvores. Para a araucária esse processo pode ser realizado colocando os pinhões em água, descartando as sobrenadantes. A permanência em água por 24 horas ajuda a acelerar a germinação (WENDLING; DELGADO, 2008). Os autores ainda citam alguns tipos de recipientes para a produção de mudas, destacando que os sacos plásticos tem sido os mais usados devido ao baixo custo e escala de produção baixa na maioria das propriedades. Entretanto, aconselha o uso de tubetes, pois estes não enovelam as raízes e ainda facilitam o manejo e o plantio a campo. Já o substrato deve ter boa drenagem, ser homogêneo e livre de pragas, podendo ser adaptado à disponibilidade de cada produtor. Atendido estas recomendações, a germinação dar-se-á entre 20 a 110 dias (KUNIYOSHI, 1983). Ao atingirem cerca de 30 cm e já tiverem passado pelo processo de rustificação, já podem ser levadas para o campo. Alguns cuidados pós-plantio são importantes, tais como roçada e coroamento das mudas, evitando a mato-competição.

Quando o objetivo do plantio é trabalhar com material genético selecionado para produção de madeira ou pinhões, deve-se atentar para o método de produção de mudas. A produção de mudas por meio de sementes tem certas limitações, ou seja, as características naturais de reprodução da araucária (alogamia) e a variabilidade genética dificultam o controle das características de interesse, desta forma, a manutenção das características da planta matriz não pode ser garantida. A propagação vegetativa é uma alternativa à produção de mudas por sementes.

2.5.2 Propagação vegetativa

A propagação vegetativa é uma alternativa à produção de mudas por sementes, constituindo uma importante ferramenta para o melhoramento genético, permitindo maximizar os ganhos em uma única geração e ainda garante a manutenção das características de interesse, o que não seria possível pela via seminal, devido a variabilidade genética (HIGASHI; SILVEIRA; GONÇALVES, 2000). Apesar disso, poucos trabalhos têm sido desenvolvidos com a araucária. Os trabalhos mais antigos são de Gurgel e Gurgel Filho (1967) e Kageyama e Ferreira (1975), ambos com enxertia. Naquela época, os autores relatavam problemas com as características de crescimento dos ramos, que limitavam a propagação vegetativa da araucária. De lá pra cá outros trabalhos foram desenvolvidos com o objetivo de propagar vegetativamente a espécie, dentre eles, o de Iritani (1981), Iritani, Soares

e Gomes (1986), Pires (2012) e Wendling e Brondani (2015) com estaquia ou miniestaquia; o de Zanette, Iritani e Paula (1987), Iritani, Zanette e Cislinski (1992, 1993), Iritani (1997), Iritani e Zanette (2000), Anselmini e Zanette (2008) com micropropagação; o de Oliveira (2010), Pires et al. (2010), Zanette, Oliveira e Biasi (2011), Wendling (2011, 2015) com enxertia. Apesar de terem sido estudadas diferentes técnicas de propagação vegetativa, todos os trabalhos que utilizaram propágulos plagiotrópicos evidenciaram limitação na aplicação da técnica, principalmente devido ao plagiotropismo da espécie não ter sido revertido.

A araucária em comum com outras espécies de *Araucariaceae* tem dois tipos de brotações, uma ortotrópica e outra plagiotrópica altamente determinadas (HAINES; NIKLES, 1987). A arquitetura de copa da araucária é formada em maior parte por ramos plagiotrópicos, assim, quando propágulos destes ramos são utilizados na propagação vegetativa dão origem a brotações com crescimento inclinado (ZOBEL; TALBERT, 1984). Apenas propágulos de origem ortotrópica desenvolvem copa com crescimento vertical (WENDLING et al., 2009; ZANETTE; OLIVEIRA; BIASI, 2011).

Com relação a técnica de estaquia, Wendling e Brondani (2015) reportaram baixo índice de enraizamento em trabalho visando o resgate vegetativo. Resultados baixos também foram alcançados por Iritani e Soares (1983), com apenas 25% de sucesso no enraizamento. Uma alternativa é a indução de brotações epicórmicas de gemas dormentes formadas durante o crescimento primário (HARTMANN et al., 2011). Estas brotações podem ser usadas como material para propagação sem a necessidade de maiores danos às árvores matrizes (WENDLING et al., 2013). Um dos problemas da indução de brotações epicórmicas diz respeito ao gradiente de juvenilidade que decresce à medida que o broto se distancia da base da árvore (HARTMANN et al., 2011). Assim dependendo da posição do broto, há diferentes respostas rizogênicas influenciadas pela idade cronológica, fisiológica e ontogenética da árvore (PIJUT; WOESTE; MICHLER, 2011). A idade cronológica refere-se ao tempo decorrido desde a germinação. Já a idade fisiológica refere-se ao vigor fisiológico de uma planta, envolvendo aspectos nutricionais e água. É aplicada aos aspectos deletérios do envelhecimento, o que inclui perda de taxa de crescimento, susceptibilidade crescente a condições adversas e senescência. Por sua vez, a idade ontogenética se refere-se ao processo de passagem pelos estádios de desenvolvimento, desde o embrião até a senescência da planta (FORTANIER; JONKERS, 1976).

Trabalhos mais recentes tem procurado contornar o problema de enraizamento das estacas utilizando a técnica de miniestaquia (WENDLING, 2015). Esta técnica consiste na

utilização de brotações de mudas propagadas pelo método de estaquia ou de mudas produzidas por sementes como fonte de propágulos vegetativos. Maior enraizamento, melhor qualidade das mudas produzidas, maior controle fitossanitário e da nutrição mineral das minicepas conduzidas em sistemas semi-hidropônicos automatizados e maior rapidez de multiplicação, são citados como vantagem sobre a estaquia (XAVIER; WENDLING; SILVA, 2013). Ainda segundo os autores, apesar do avanço na técnica de propagação por estaquia, este método requer material com características juvenis, portanto, algumas características de interesse como porte reduzido e antecipação da produção, dificilmente serão conseguidas quando se utiliza este método. Logo, este método é mais indicado para produção de madeira e de sementes oriundas de matrizes com excelente desempenho fenotípico na produção de madeira.

Outra opção de propagação vegetativa também aplicada para a araucária é a micropropagação, no entanto esta técnica não tem apresentado bons resultados em relação a emissão de raízes e quantidade de brotações (IRITANI; ZANETTE; CISLINSKI, 1992; BERTHOLDO; CORDEIRO; ASTARITA, 2009; PEREIRA et al., 2014).

Embora os trabalhos iniciais tenham demonstrado limitação da técnica de enxertia em araucária, estudos mais atuais demonstram sua viabilidade (ZANETTE, 2011; WENDLING, 2015), apesar de ainda pouco utilizada.

O problema principal (plagiotropismo) apontado nos primeiros trabalhos de enxertia em araucária ainda permanece. No entanto, estão sendo despendidos esforços no sentido de contorná-los. O trabalho desenvolvido por Wendling et al (2009) objetivou a indução de brotações epicórmicas ortotrópicas em árvores adultas de araucária. Os autores testaram diversos métodos (anelamento, decepa na base, corte do ponteiro) e dentre estes, recomendaram o corte do ponteiro, tendo em vista que os demais induzem brotações juvenis, ou seja, aquelas que quando enxertadas não formarão plantas de frutificação precoce e de porte reduzido, embora apresentem todas as outras vantagens da enxertia, como manutenção do sexo das plantas, época de frutificação e tipo de pinhão, por exemplo. Além do mais a decepa da planta incorre em transgressão a legislação em determinados casos. O corte do ponteiro também é recomendado por Zanette (2011, 2013).

Considerando que a enxertia é viável, trabalhos voltados para a multiplicação de propágulos ortotrópicos devem ser incentivados visando dar subsídios para a produção de mudas de araucária em larga escala.

3 CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE *Araucaria angustifolia* SUBMETIDAS A NÍVEIS DE NPK E O EFEITO NA DISTRIBUIÇÃO DE ELEMENTOS EM ACÍCULAS

RESUMO

A *Araucaria angustifolia* é ainda pouco conhecida em termos de nutrição e acumulação de elementos em suas acículas. O presente trabalho objetivou avaliar os sintomas de deficiência, bem como o efeito da aplicação de N, P e K no crescimento e na qualidade de mudas de araucária e sua relação com a acumulação elementar em acículas. Mudas de araucária foram transplantadas para vasos com 16 dm³ de solo, nos quais foram adicionados os seguintes tratamentos, referentes a quatro experimentos: (I) níveis de nitrogênio (0, 350, 700, 1400 e 2800 mg dm⁻³ de N); (II) níveis de fósforo (0; 288; 576; 1152; 2300 mg dm⁻³ de P); (III) níveis de potássio (0, 200, 400, 800 e 1600 mg dm⁻³ de K) e (IV) alta disponibilidade de P e K (P = 2300 mg dm⁻³; K = 800 mg dm⁻³; N = 1400 mg dm⁻³), baixa disponibilidade de K (K=0; P=1152 mg dm⁻³; N=1400 mg dm⁻³), baixa disponibilidade de P (P = 0; K = 800 mg dm⁻³; N = 1400 mg dm⁻³). Para o experimento IV foi utilizada microscopia eletrônica de varredura (MEV) com espectroscopia por dispersão de energia (EDS) para avaliar a acumulação de elementos em acículas (epiderme superior, mesófilo paliádico, mesófilo esponjoso e epiderme inferior) de araucária com 27 meses de idade. Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições (exp. I ao III), onde foram avaliados os parâmetros de crescimento e qualidade das mudas. Para o experimento IV foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado em parcelas subdivididas com quatro repetições, onde foi avaliada a distribuição de elementos em acículas. As mudas de araucária responderam em termos de crescimento ao fornecimento de N e P, mas não de K. Conclui-se que o fornecimento de N e P promoveu resposta linear no teor foliar para estes elementos, refletindo melhoria na qualidade de mudas de araucária, resultante da mudança de crescimento. Apesar do fornecimento de K promover numa resposta quadrática no teor foliar, não foi verificado resposta no crescimento de mudas de araucária, indicando que esta espécie é pouco exigente em relação a este elemento, utiliza-o para consumo de luxo em relação aos parâmetros de crescimento. O fornecimento de N estimula o crescimento da parte aérea e raízes em intensidade similares, não interferindo assim, na relação raiz e parte aérea. No entanto, o fornecimento de P promove resposta decrescente nesta relação. A araucária responde ao fornecimento de N, P e K na seguinte ordem decrescente: P>N>K. Os sintomas de deficiência de N em mudas de araucária de 27 meses de idade mantidas em vaso são a clorose acentuada e a inibição da produção de massa total. Por sua vez a deficiência de P causa redução de crescimento, coloração parda das acículas, ramos secundários escassos e pequeno desenvolvimento da gema terminal, culminando com segmentos de entrenó mais curto. Já a deficiência em K é pouco diferente da condição onde o elemento é disponibilizado. A disponibilidade de P e K no solo afeta a acumulação de elementos em acículas de araucária, sendo que o tipo de tecido e a formação de cristais foram chaves para a dinâmica de nutrientes.

Palavras-chave: Nutrição de plantas. Cristais. Índice de qualidade de Dickson. Microscopia eletrônica.

GROWTH AND QUALITY OF *Araucaria angustifolia* SEEDLINGS SUBMITTED TO NPK LEVELS AND THE EFFECT ON ELEMENTS DISTRIBUTION IN LEAVES

ABSTRACT

Araucaria angustifolia is still little known about nutrition and accumulation of elements in its needles. The aim of this work was to evaluate the deficiency symptoms, as well as the effect of the application of N, P and K on the growth and quality of araucaria seedlings and its relationship with elemental accumulation in needles. Araucaria seedlings were transplanted to pots with 16 dm³ of soil, in which the following treatments were added regarding to four experiments: (I) levels of nitrogen (0, 350, 700, 1400 and 2800 mg dm⁻³ of N), (II) levels of phosphorus (0; 288; 576; 1152; 2300 mg dm⁻³ of P), (III) levels of potassium (0, 200, 400, 800 and 1600 mg dm⁻³ of K) and (IV) high availability of P and K (P = 2300 mg dm⁻³; K = 800 mg dm⁻³; N = 1400 mg dm⁻³), low availability of K (K = 0, P = 1152 mg dm⁻³; N = 1400 mg dm⁻³), low availability of P (P = 0, K = 800 mg dm⁻³, N = 1400 mg dm⁻³). For the experiment IV, scanning electron microscopy (MEV) with energy dispersive spectroscopy (EDS) was used to evaluate the accumulation of elements in needles (upper epidermis, palisade mesophyll, spongy mesophyll and lower epidermis) of araucaria at 27 months of age. A completely randomized design with four replicates (exp. I to III) was used, where growth and quality parameters of the seedlings were evaluated. For experiment IV a completely randomized design was used in subdivided plots with four replications, where the distribution of elements in needles was evaluated. Araucaria seedlings responded in terms of growth for supply and N and P, but not for K. It is concluded that the supply of N and P promoted a linear response in leaf content for these elements, reflecting improvement in the quality of araucaria seedlings, resulting from the change in growth. Although the supply of K promoted in a quadratic response in the leaf content, no response was observed in the growth of araucaria seedlings, indicating that this species is not very demanding in relation to this element, it uses it for luxury consumption in relation to growth parameters. The supply of N stimulates shoot growth and roots at similar intensity, thus not interfering in the root and shoot ratio. However, the supply of P promotes a decreasing response in this relation. Araucaria responds to the supply of N, P and K in the following decreasing order: P > N > K. The symptoms of N deficiency in 27 month-old araucaria seedlings kept in pot are marked chlorosis and inhibition of total mass production. In turn, the deficiency of P causes growth reduction, brown coloration of the needles, scarce secondary branches and small development of the terminal yolk, culminating with segments of shorter training. Already the deficiency in K is little different from the condition where the element is made available. The availability of P and K in soil affects the accumulation of elements in araucaria needles, and the type of tissue and crystal formation were key to nutrient dynamics.

Key-words: Plant nutrition. Crystals. Quality index of Dickson. Electronics microscopy.

3.1 INTRODUÇÃO

A araucária (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze), também é conhecida pelos nomes comuns de pinheiro-do-paraná ou pinheiro-brasileiro, típica do planalto meridional brasileiro, é considerada a conífera de maior expressão da flora brasileira (SANQUETTA et al., 2014). Representando 40% dos indivíduos da Floresta Ombrofila Mista, a araucária ocupa o estrato superior, criando condições para o desenvolvimento de outras espécies (KOCH; CORRÊA, 2010).

Devido a intensa exploração a floresta com araucária foi reduzida a pequenos fragmentos (MONTAGNA et al., 2012). Apesar de protegida por lei (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2001), a araucária ainda encontra-se na lista de espécies criticamente ameaçadas de extinção (IUCN, 2013).

A exploração extrativista do pinhão, muito comum até hoje, pode interferir na regeneração natural da araucária (PITCHER, 1973) e junto com as raras e insignificantes iniciativas de plantios, elevar o risco de extinção. Uma alternativa, dada a importância econômica e ambiental da espécie, é estimular novos plantios visando à produção de pinhões e/ou madeira (BRDE, 2005; ZANETTE, 2010; WENDLING, 2011, 2015). Contudo, o entendimento das necessidades nutricionais da planta é essencial (GONÇALVES; BENETTI, 2005), uma vez que a seleção inadequada dos locais de plantio diminui o interesse pela espécie, principalmente pelos maus resultados obtidos (VAN GOOR, 1965a). Nesse sentido, o manejo da cultura deve iniciar ainda no viveiro, com a produção de mudas de qualidade e bem nutridas, favorecendo o crescimento mais rápido em campo.

Apesar de ocorrer em diversos tipos de solos, a *A. angustifolia* tem se mostrado uma espécie exigente quanto a fertilidade do solo (SILVA et al., 2001), sendo apontada uma forte dependência da espécie à associações micorrízicas (MOREIRA-SOUZA; CARDOSO, 2001; ZANDAVALLI; DILLENBURG; SOUZA, 2004).

O nitrogênio e o fósforo são os elementos mais exigidos pela araucária, seguido pela oferta de potássio em menor escala. A carência destes elementos limita o crescimento da espécie (SIMÕES; COUTO, 1973). Em adição, a baixa fertilidade e profundidade do solo estão relacionadas com o lento crescimento da espécie na fase juvenil (CARVALHO, 2003). Silva et al. (2001) relatam que a qualidade de sítio expressa pelo crescimento e altura da araucária está correlacionada positivamente com os teores de P, N e K do solo, o que demonstra a importância destes elementos nas diversas fases de crescimento da planta.

Os solos, em sua maioria, não fornecem adequadamente o nitrogênio durante determinadas fases de desenvolvimento das plantas, em função do aumento da demanda nestas fases e às transformações biológicas e químicas que o N está sujeito no solo e, que podem alterar significativamente a sua disponibilidade. Somado a isso, os solos tropicais são pobres em P (FAQUIN, 2005). Portanto, o estado nutricional e a qualidade das mudas podem refletir no seu crescimento e desenvolvimento no campo (CECONI *et al.*, 2007, LISBOA *et al.*, 2012).

Em estudos com a araucária a análise da composição elementar tem sido utilizada para avaliar diferentes aspectos do metabolismo da planta, como seu estado nutricional e relações hídricas (GARBIN; DILLENBURG, 2008; CASSANA; DILLENBURG, 2013). Contudo, o uso exclusivo da concentração total dos elementos nas acículas tem uso limitado para estudar o metabolismo vegetal, pois os tipos de tecidos que compõem as folhas podem ter composição variável (TOLRÀ *et al.*, 2011; REGVAR *et al.*, 2013).

Técnicas avançadas de microscopia e espectroscopia tem permitido uma visão mais abrangente da composição elementar em tecidos vegetais (DINH *et al.*, 2015; ENSIKAT; GEISLER; WEIGEND, 2016). Na avaliação da acumulação elementar, estudos têm concentrado esforços para entender a distribuição elementar em diferentes tecidos e células vegetais (CONN; GILLIHAM, 2010) e, o sequestro de elementos em cristais (HE *et al.*, 2014). Nesse sentido, a microscopia eletrônica de varredura (MEV) combinada com espectroscopia por dispersão de energia (EDS) tem sido utilizada de forma eficiente na microanálise de elementos essenciais e elementos potencialmente tóxicos em tecido vegetal (SILVA; AGUIAR-DIAS; MENDONÇA, 2014; HE *et al.*, 2015). Porém, para a araucária não existem resultados referentes a aspectos biológicos da acumulação elementar em acículas. Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar os sintomas de deficiência nutricional, bem como o efeito de N, P e K no crescimento e na qualidade de mudas de araucária conduzidas em vasos e o perfil de acumulação de elementos nas acículas mediante a variação na disponibilidade dos nutrientes P e K.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido a céu aberto em viveiro no município de Curitiba - PR (latitude -25,412; longitude -49,428; altitude 911 m).

Os experimentos foram instalados em dezembro de 2013, utilizando-se vasos plásticos com volume de 20 dm³. O substrato utilizado foi solo coletado em área de ocorrência de araucária (Fazenda Experimental da Universidade Federal do Paraná, no município de Pinhais - latitude -25,38; longitude -49,12; altitude 920 m), classificado como cambissolo (RAKSSA; SANTOS, 2006). A granulometria e os atributos químicos estão apresentados na TABELA 1. Trata-se de um solo muito pobre em nutrientes, com teor muito baixo de matéria orgânica e P e teor baixo de K, com base no Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

TABELA 1 – GRANULOMETRIA E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO UTILIZADO COMO SUBSTRATO.

Areia	Silte	Argila	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H+Al ³⁺	CEC	BS	m	P	MO
----- g kg ⁻¹ -----				----- cmol _c dm ⁻³ -----						%	%	mg dm ⁻³	g dm ⁻³
238	213	550	4,0	1,60	0,80	0,08	2,90	11,30	13,78	18	54	0,90	7,4

Onde: Areia, Silte e Argila (Método hidrômetro de Bouyoucos); pH (CaC₂ 0,01 mol L⁻¹); Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ (extraído KCl 1 mol L⁻¹); H⁺ + Al³⁺ (extração por acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹); Matéria orgânica (MO) (Método volumétrico por dicromato de potássio); K⁺ e P (Extração de Mehlich-1); Saturação de bases (SB) e saturação Al³⁺ (m).

O solo sob umidade de campo foi peneirado em malha de quatro milímetros. Com base na análise química foi aplicado 3,6 g de calcário dolomítico (PRNT = 75,2%) por kg de solo para elevação da saturação de base para 50%, homogeneizado e incubado por dois meses.

Este trabalho foi composto por quatro experimentos, sendo os três primeiros constituídos de cinco tratamentos e quatro repetições e o quarto de três tratamentos e quatro repetições, conforme descritos abaixo:

1) Adubação nitrogenada – produto comercial - Ureia (45% - N)

5 níveis de nitrogênio (0, 175, 350, 700 e 1400 mg dm⁻³), com doses fixas de fósforo (1152 mg dm⁻³) e de potássio (776 mg dm⁻³).

2) Adubação fosfatada – produto comercial – Superfosfato triplo (41% - P₂O₅)

5 níveis de fósforo (0, 288, 576, 1152 e 2304 mg dm⁻³), com doses fixas de nitrogênio (700 mg dm⁻³) e de potássio (776 mg dm⁻³).

3) Adubação potássica – produto comercial – Cloreto de potássio (KCl) (60% - K_2O)

5 níveis de potássio (0, 194, 388, 776 e 1552 $mg\ dm^{-3}$), com doses fixas de nitrogênio (700 $mg\ dm^{-3}$) e fósforo (1152 $mg\ dm^{-3}$).

4) Distribuição de elementos em acículas de araucária

- (I) Tratamento controle - Alta disponibilidade de P e K ($P = 2304\ mg\ dm^{-3}$; $K = 776\ mg\ dm^{-3}$; $N = 700\ mg\ dm^{-3}$),
- (II) Baixa disponibilidade de K ($K=0\ g$; $P=1152\ mg\ dm^{-3}$; $N= 700\ mg\ dm^{-3}$),
- (III) Baixa disponibilidade de P ($P = 0\ g$; $K = 776\ mg\ dm^{-3}$; $N = 700\ mg\ dm^{-3}$).

A quantidade de nutrientes referente a cada tratamento foi aplicada em 16 dm^3 de solo com posterior homogeneização, antes do preenchimento dos vasos.

Mudas pré-formadas de araucária com seis meses de idade e altura aproximada de 20 cm foram transplantadas para os vasos em 13/12/2013, totalizando 60 plantas. Os vasos devidamente identificados foram distribuídos de forma aleatória no viveiro (FIGURA 1) e, posteriormente, acomodados sobre superfície plástica para evitar contato com o solo.



FIGURA 1 – EXPERIMENTO DE ADUBAÇÃO COM NPK EM MUDAS DE *A. angustifolia*.
FONTE: O autor (2013).

O controle de plantas invasoras foi realizado manualmente e a irrigação ocorreu sempre que houve necessidade, em períodos críticos sem chuvas.

As doses iniciais de N foram particionadas em três (50%, 30% e 20%) e reaplicadas em intervalos de dois meses após o primeiro ano da instalação do experimento.

Nos três primeiros experimentos foram realizadas 11 avaliações de altura e diâmetro do colo das plantas (aos 42; 75; 123; 181; 215; 244; 303; 332; 368; 456; 526 dias), iniciando em janeiro de 2013 e estendendo-se até maio de 2015 (17 meses a partir do transplântio). Próximo do encerramento do experimento foi avaliado o comprimento e a largura das acículas, maior ramo, comprimento do maior entrenó, o índice relativo de clorofila (IRC) utilizando clorofilômetro (CCM-200 plus – Opti-Sciences), conforme Salla (2007) (apenas para o Experimento I), e a cor das acículas, que foi mensurada utilizando espectrofotômetro (colorímetro) (Konica Minolta, Spectrophotometer CM-5) (apenas para a adubação nitrogenada), sendo posteriormente calculado o ângulo Hue, relativo a coloração das acículas.

Ao encerrar o experimento (09/2015) com mudas de 21 meses, as plantas foram cortadas e separadas na partição raízes, acículas, ramos e tronco, e posteriormente secas em estufa a 60 °C até atingir peso constante.

A qualidade das mudas foi avaliada por meio do Índice de Qualidade de Dickson (IQD) (DICKSON; LEAF; HOSNER, 1960), conforme a seguinte equação:

$$IQD = \frac{MST (g)}{\frac{ALT (cm)}{DIAM (mm)} + \frac{MSPA (g)}{MSR (g)}}$$

Onde: IQD – Índice de Qualidade de Dickson

MST – Massa seca total

ALT – Altura

DIAM – Diâmetro

MSPA – Massa seca da parte aérea

MSR – Massa seca de raízes

Para avaliação do teor foliar foram obtidas amostras da partição acículas previamente secas, moídas e passada em peneira de 1 mm. Uma amostra deste material foi utilizada para a determinação do nitrogênio realizada pelo método elementar. Outra amostra (200 mg) passou pelo processo de digestão com 6 ml de solução ácido nítrico+água (relação 2:1; v/v) e 2 ml de peróxido de hidrogênio (30%), em sistema fechado de aquecimento por microondas (MARS, CEM Microwave Technology Ltd). Em todas as etapas foi utilizado água ultrapura (Millipore

Milli-Q Academic). Com a solução obtida foi determinado o P utilizando o equipamento optical emission spectrometer with inductively coupled plasma (ICP-OES) (720-ES, Varian). Para a determinação da composição elementar de K foi utilizado espectrômetro de emissão por chama (DM-62, Digimed).

Os dados foram submetidos à análise de variância e o efeito dos níveis de NPK foi determinado pela análise de regressão, e apresentado a correlação de Pearson quando significativo, utilizando o software estatístico Assistat 7.7.

A avaliação da distribuição de elementos foi realizada em acículas de araucárias com 21 meses de idade provenientes dos experimentos com NPK. Foram coletadas acículas (sem lesões ou sintomas de doenças) na região central de ramos do terceiro verticilo partindo do ápice da copa. Nesse período verificou-se que as plantas estavam com altura média de 88; 73,8; 68 cm, respectivamente, para os tratamentos I, II e III (adubação com NPK). As acículas foram lavadas com água deionizada corrente. Na região central das acículas foram realizados cortes transversais (com lâmina de aço inoxidável) com cerca de 2 mm de largura. Os pedaços de acículas foram fixadas em meio FAA (5% [v/v] formalina, 5% [v/v] ácido acético glacial e 70% [v/v] etanol), por 24 h no escuro a 4 °C. Transcorrido o período de fixação as amostras foram desidratadas em série etílica crescente de 70, 80, 90, 95 e 100% por 1 h e desidratação ao ponto crítico com CO₂ líquido. Em seguida as amostras foram montadas em suportes (stubs) de alumínio recoberto com fita dupla-face de cobre. As microanálises foram realizadas no Centro de Microscopia Eletrônica da Universidade Federal do Paraná, utilizando microscópio eletrônico de varredura (Vega3 LM, Tescan) com espectroscópio de energia dispersiva (X-Max^N 80 mm², Oxford). Foram selecionados quatro pontos das acículas (epiderme superior, mesófilo paliádico, mesófilo esponjoso e epiderme inferior) (FIGURA 2) e determinada a composição elementar. Em seguida, foi determinada a composição elementar de cristais encontrados no mesófilo das acículas. As imagens foram obtidas com voltagem acelerada de 15 kV em baixo vácuo. As microanálises por EDS foram realizadas com voltagem acelerada de 15 kV e em tempo 120 s por ponto. Em geral, foram detectados no máximo doze elementos (C, O, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca e Fe).

O procedimento analítico para determinação da composição de elementos nas acículas foi: digestão de 200 mg de acículas (secas em estufa, moídas e passadas em malha de 1 mm) com 6 ml de solução ácido nítrico+água (relação 2:1; v/v) e 2 ml de peróxido de hidrogênio (30%), em sistema fechado de aquecimento por microondas (MARS, CEM Microwave Technology Ltd). Em todas as etapas foi utilizado água ultrapura (Millipore Milli-

Q Academic). Na determinação da composição elementar foi utilizado espectrômetro de emissão por chama (DM-62, Digimed) para K, enquanto os demais elementos (Ca, Mg, P, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Si, Cr, Al, Ba, Ti) foram determinados utilizando optical emission spectrometer with inductively coupled plasma (ICP-OES) (720-ES, Varian).

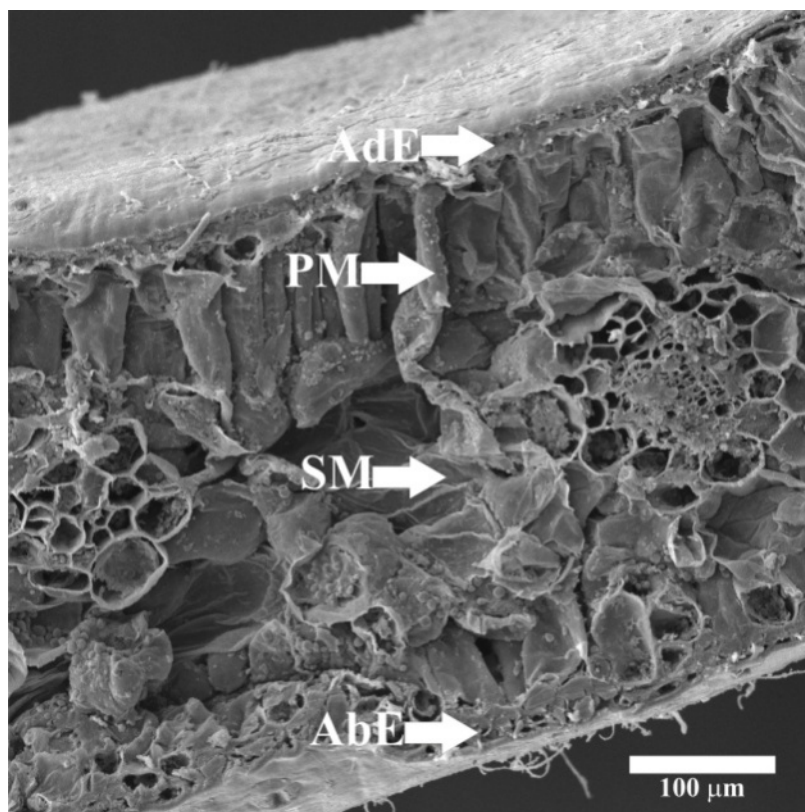


FIGURA 2 - FOTOMICROGRAFIA (OBTIDA COM MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA EM ALTO VÁCUO, APÓS METALIZAÇÃO COM AU) DA SECÇÃO DA ACÍCULA DE *A. angustifolia* COM INDICAÇÃO DOS PONTOS ONDE FORAM REALIZADAS AS DETERMINAÇÕES DE COMPOSIÇÃO ELEMENTAR COM ESPECTROSCÓPIO DE ENERGIA DISPERSIVA DE RAIOS-X. AdE: EPIDERME ADAXIAL. PM: MESÓFILO PALIÇÁDICO. SM: MESÓFILO ESPONJOSO. AbE: EPIDERME ABAXIAL. FONTE: O autor (2015).

Os dados de concentração relativa de elementos nos tecidos especializados das acículas da araucária foram analisados num delineamento completamente casualizado em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Os três tratamentos de fertilidade do solo/nutrição de plantas (controle, menos K e menos P) foram considerados como parcelas e os quatro tipos de tecidos especializados (epiderme superior, mesófilo paliçádico, mesófilo esponjoso e epiderme inferior) foram considerados as sub-parcelas. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com o software Sisvar (FERREIRA, 2011).

3.3 RESULTADOS: ADUBAÇÃO NITROGENADA

Durante o período de avaliação não houve diferença significativa no crescimento em altura das mudas de araucária em função da aplicação de diferentes doses de nitrogênio (N), tanto nas estações de maior crescimento (primavera e verão) quanto nas de menor crescimento (outono e inverno). Após 526 dias da aplicação de N, as mudas apresentaram crescimento médio em altura de 72,2 cm e diâmetro de 13 mm, podendo ser considerado um crescimento satisfatório (FIGURA 3 A).

Diferente da altura, as acículas apresentaram variação na largura em função do N, atingindo 8,2 mm na dose de 1.400 mg dm⁻³, aumentando até a dose de máxima eficiência técnica (1.610 mg dm⁻³ de N). No entanto, a maior dose (2800 mg dm⁻³) resultou em largura semelhante a da testemunha (FIGURA 3 B). O comprimento das acículas não foi afetado pelo aumento das doses de N, atingindo média de 36 mm (FIGURA 3 B).

Mesmo sem diferir em relação à altura e diâmetro do colo, a massa seca de todas as frações da parte aérea, acícula, ramos e troncos, respondeu de forma linear com o fornecimento de N. A maior proporção da parte aérea foi composta pelas acículas, a qual apresentou massa seca, 64% superior a da fração do tronco, e quase três vezes superior a massa seca do ramo (FIGURA 3 C). O fornecimento de N também promoveu crescimento linear tanto da parte aérea quanto das raízes, o que resultou, em relação próxima de 1:1, entre estas duas partes (FIGURA 4 A).

Os teores foliares de N responderam linearmente em relação à quantidade aplicada no solo variando de 7,9 a 15,4 g kg⁻¹, entre a testemunha e a maior dose respectivamente (FIGURA 4 B). Por outro lado, a resposta do índice relativo de clorofila (IRC) aumentou de forma quadrática com o máximo de eficiência na dose de 1.475 mg dm⁻³. Resposta semelhante foi observada para a coloração das acículas que tendeu a coloração verde com o aumento do N, conforme representada pelo ângulo Hue, sendo observado o valor máximo na dose de 2.006 mg dm⁻³.

Foi observada correlação positiva (Pearson) do IRC com a largura das acículas e com a biomassa seca total (PMST) dada por ($r^2 = 0,83$ **) e ($r^2 = 0,50$ *), respectivamente.

A biomassa total das mudas apresentou resultado semelhante ao constatado nas diferentes partições das plantas, promovendo crescimento linear e 75% a mais que na omissão de N. Da mesma forma o IQD, também respondeu de forma linear à aplicação de nitrogênio

(FIGURA 4 C), porém, não se correlacionou com o teor foliar de N e consequentemente com o IRC.

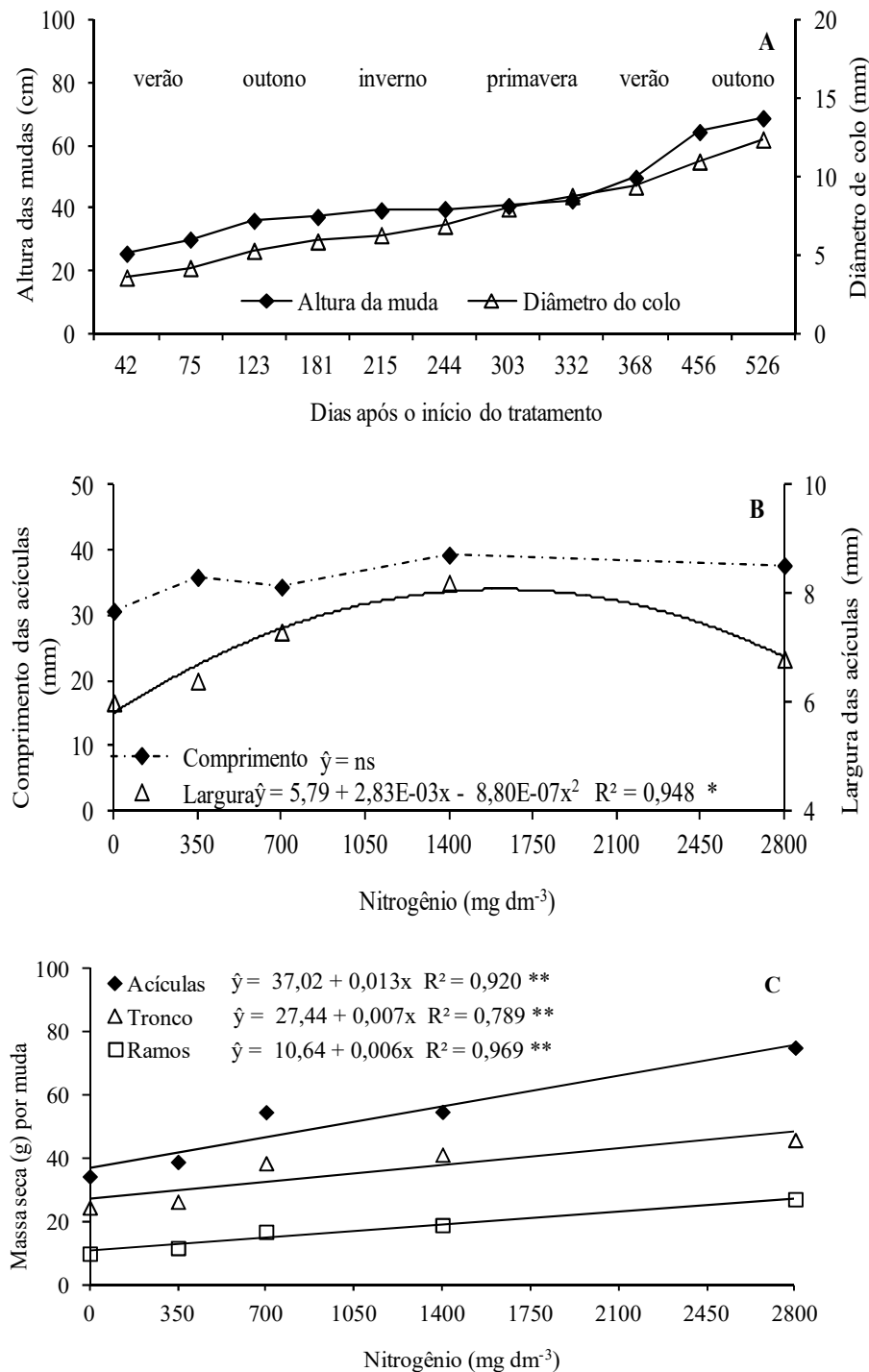


FIGURA 3 – EFEITO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NOS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DE MUDAS DE *A. angustifolia* MANTIDAS EM VASOS: A) ALTURA E DIÂMETRO 526 DIAS (17,5 MESES) APÓS A ADUBAÇÃO; B) COMPRIMENTO E LARGURA DAS ACÍCULAS; C) MASSA DE ACÍCULAS, TRONCO E RAMOS AOS 21 MESES APÓS A ADUBAÇÃO.

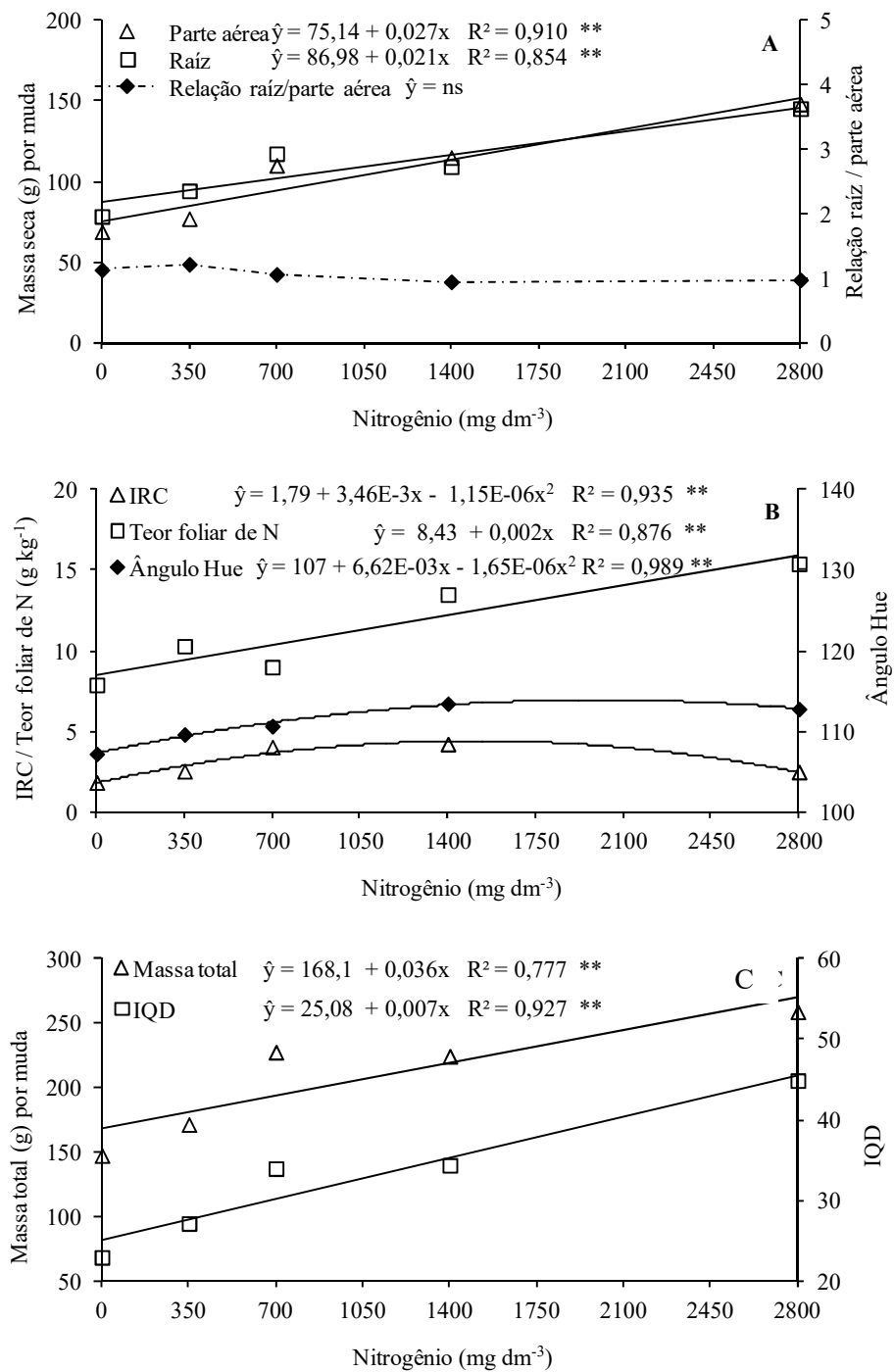


FIGURA 4 – EFEITO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NOS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE *A. angustifolia* MANTIDAS EM VASOS, APÓS 21 MESES: A) MASSA SECA (PARTE AÉREA E RAÍZES) E RELAÇÃO RAÍZ PARTE AÉREA; B) ÍNDICE RELATIVO DE CLOROFILA (IRC), TEOR FOLIAR DE N E ÂNGULO HUE; C) MASSA TOTAL E ÍNDICE DE QUALIDADE DE DICKSON (IQD).

3.4 DISCUSSÃO: ADUBAÇÃO NITROGENADA

Embora a altura e diâmetro das plantas não tenham apresentado resposta ao N, outros parâmetros de crescimento (massa seca) e qualidade (IQD) em mudas de araucária confirmam a importância deste elemento como promotor de crescimento da planta (CARVALHO; FERREIRA; STAUT, 2011). Em muitos sistemas de produção o N é considerado um fator limitante ao crescimento (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000). Desta forma, o baixo teor de matéria orgânica do solo utilizado neste experimento (TABELA 1) contribui para a resposta da biomassa ao fornecimento de N.

Contrastando com os resultados aqui obtidos para altura e diâmetro, MORETTI, et al. (2015) trabalhando com cedro australiano, concluíram que o fornecimento de N influenciou o crescimento em altura e diâmetro, principalmente nos meses de alta disponibilidade de água no solo. Os autores também reportaram a necessidade de 85 g de N para alcançar a máxima eficiência técnica para a altura.

O crescimento pouco significativo nos meses que antecederam o inverno se deve, principalmente, à fase de adaptação das plantas (FIGURA 3 A). A redução do crescimento no período de frio é comum em araucária, conforme relatado por Assumpção Neto (2008). Apesar da escassez de N limitar o crescimento das árvores, durante estações frias (SUNDSTRÖM; MAGNUSSON; HANELL, 2000), o fornecimento de N não promoveu crescimento diferenciado em altura e diâmetro quando comparado à omissão do elemento.

A resposta linear e o aumento em 75% na produção de massa total em relação a omissão de N, sugere que a araucária é eficiente na assimilação e utilização do N (FIGURA 4 C).

A omissão de N implicou em uma menor produção de massa nas várias partições da parte aérea (FIGURA 3 C) e também das raízes (FIGURA 4 A). Ao promover o crescimento das mudas, o fornecimento de N não promoveu diferença na relação entre massa de raízes e massa da parte aérea, resultado numa relação próxima de 1:1 (FIGURA 4 A). Do ponto de vista de Caldeira et al. (2008) que citam a relação raiz/parte aérea de 1:2 para a aroeira vermelha como sendo adequada, a relação encontrada neste trabalho seria interessante no momento em que as mudas vão para o campo, pois nessa fase a parte aérea das mudas não deve ser muito superior que a da raiz em função dos possíveis problemas relacionados à absorção de água para a parte aérea. No entanto, cabe ressaltar que as mudas também não devem ser muito baixas a ponto de comprometer sua sobrevivência em função da

concorrência com o mato. Nesse sentido, é importante estabelecer a relação adequada raiz/parte aérea para cada espécie.

O nitrogênio (N) é o elemento mineral constituinte da molécula de clorofila e outros pigmentos (SOUZA; FERNANDES, 2006; RAIJ, 2011). Isto justifica os resultados apresentados na FIGURA 4 B. Contudo, os resultados indicam que nem todo N assimilado foi direcionado para as moléculas de clorofila, já que a resposta do IRC foi quadrática. Chapman e Barreto (1997) afirmam que apenas entre 50 e 70% do N total das folhas é integrante de enzimas que estão associadas aos cloroplastos. Possivelmente a resposta do IRC na dose de máxima eficiência técnica (1.475 mg dm^{-3} de N) esteja relacionada à capacidade de máxima eficiência fotossintética, uma vez que muitos trabalhos citam correlação positiva entre IRC, conteúdo de clorofila e teor foliar de N (LE BAIL et al., 2005; SALLA; RODRIGUES; MARENCO, 2007; HUANG et al., 2008; LIU; YANG, YANG, 2012). No entanto, o fornecimento de N acima da dose de máxima eficiência técnica e/ou eficiência fotossintética, indica que o excesso de N foi priorizado para outras atividades fisiológicas relacionadas ao crescimento e/ou acumulado nas acículas, configurando uma reserva de N. Isso ajudaria a explicar o aumento linear do teor foliar de N e o aumento da produção de biomassa total. Lopes e Guilherme (2000) relacionam a absorção de N pela planta acima de suas necessidades como uma forma de consumo de luxo. No entanto, no caso da araucária essa hipótese não se fundamenta, uma vez que a biomassa total também respondeu linearmente ao fornecimento de N, indicando a participação deste elemento nos processos fisiológicos de crescimento. Por outro lado, na omissão de N as mudas de araucária apresentaram alguns sintomas muito característicos da falta de N, conforme também relatado por Simões e Couto (1973) em trabalho com nutrição desta mesma espécie (FIGURAS 5 e 6).

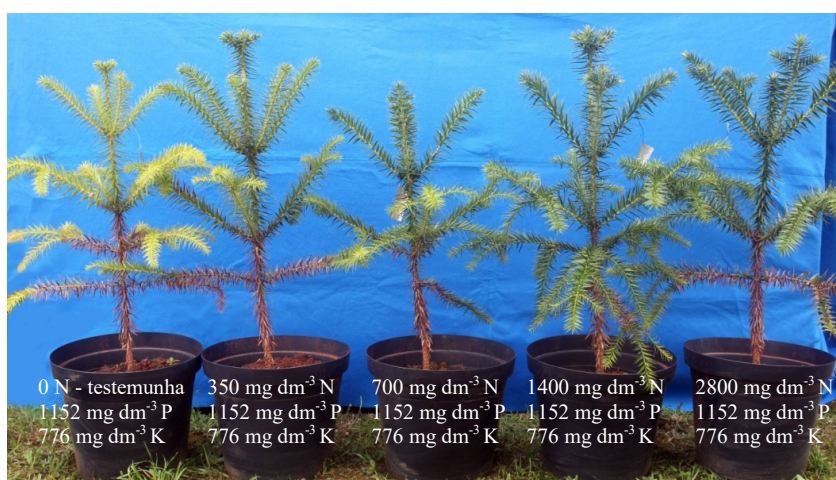


FIGURA 5 - ASPECTO DE MUDAS DE *A. angustifolia* ADUBADAS COM DIFERENTES NÍVEIS DE N E DOSES FIXAS DE P (1152 mg dm^{-3}) E DE K (776 mg dm^{-3}) AOS 21 MESES DA ADUBAÇÃO. FONTE: O autor (2015).



FIGURA 6 – CONTRASTE DE MUDAS DE *A. angustifolia* AOS 21 MESES DA ADUBAÇÃO: SEM O FORNECIMENTO DE N (ESQUERDA) E COM O FORNECIMENTO DE 2800 mg dm⁻³ DE N (DIREITA).

FONTE: O autor (2015).

Dentre os principais sintomas observados neste experimento destaca-se a clorose acentuada causada pelo decréscimo da síntese da clorofila e a inibição do crescimento caracterizada por acículas mais estreitas e curtas, ramos e tronco mais finos (Figura 5 e 6). Portanto, a correlação positiva (Pearson) do IRC com a largura das acículas e com a massa total dada por ($r^2 = 0,83 *$) e ($r^2 = 0,50 *$) (ANEXO 1), respectivamente, indica que o IRC tem potencial de uso na avaliação do estado nutricional de N na araucária.

A resposta linear positiva para o IQD indica diferença entre os tratamentos e relaciona a dose máxima de N (2800 mg dm⁻³) às mudas de melhor qualidade, ou seja, aquelas que apresentaram melhor equilíbrio na distribuição da fitomassa (FONSECA, 2000). No entanto, a resposta linear deste parâmetro também indica o potencial de resposta da araucária a uma maior dose de N, podendo resultar em mudas ainda de melhor padrão de qualidade. Nesse sentido, o IQD é um bom parâmetro para ser utilizado na avaliação de mudas de araucária. Trabalhando com *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco e *Picea abies* L. Hunt (1990) recomendou o IQD como sendo bom indicador da qualidade destas mudas. Isso reforça a importância deste parâmetro para avaliação da qualidade de mudas de coníferas, apesar da necessidade de destruí-las, o que caracteriza um fator limitante para seu uso.

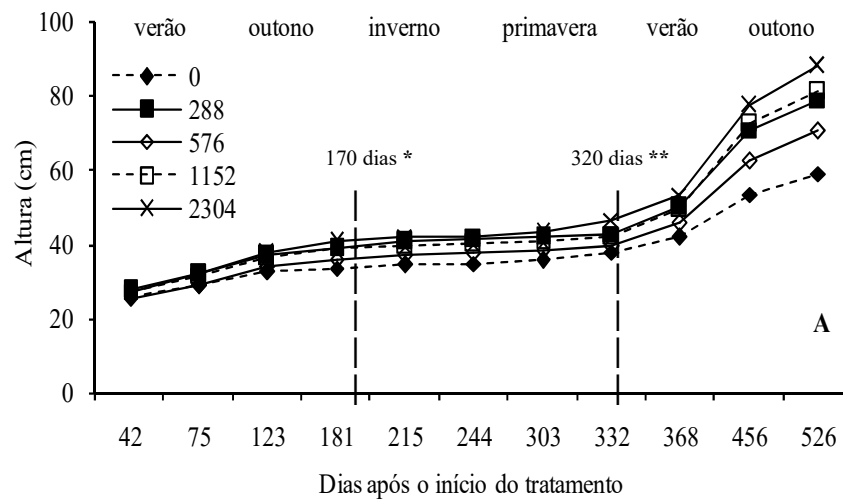
3.5 RESULTADOS: ADUBAÇÃO FOSFATADA

Diferente do experimento com adubação nitrogenada, o fornecimento de P promoveu maior crescimento das mudas de araucária, refletindo no crescimento em altura e diâmetro do coleto, a partir de 170 e 320 dias da sua aplicação (FIGURA 7 A e B), resultando no final dos 526 dias em crescimento total em altura de 87,8 cm e diâmetro médio de 14,4 mm. O fornecimento de P resultou em resposta linear, sendo que a maior dose testada proporcionou 49% de incremento em altura e 26% de incremento do diâmetro de colo em relação ao tratamento com a omissão deste nutriente (FIGURA 7 C). Em adição, o P resultou em crescimento linear dos entrenós, cujo incremento foi de 69% superior ao tratamento que omitiu P.

Todas as frações da copa foram influenciadas pelo fornecimento de P da mesma forma que no experimento onde foram avaliados os níveis de N (FIGURA 8 A). Todavia, as curvas de respostas para a fração acículas e fração ramos se comportaram de forma quadrática, com a fração tronco respondendo de forma linear. Embora a largura e comprimento das acículas não tenham respondido a adubação, a produção de biomassa de acículas foi mais representativa atingindo ponto de máxima eficiência técnica com aproximadamente 1700 mg dm⁻³ de P. A fração tronco teve a biomassa seca incrementada em cerca de 62% em comparação ao tratamento que omitiu o elemento. Por sua vez, a biomassa de ramos atingiu ponto de máxima eficiência técnica com 1557 mg dm⁻³ de P.

O suprimento de P influenciou a relação raiz parte aérea. A partir do momento em que o elemento é disponibilizado, há um crescimento linear da massa da parte aérea e quadrático da massa de raízes, ao mesmo tempo em que a relação raiz parte aérea diminui de forma linear. Quando o fornecimento atinge 1150 mg dm⁻³ de P, que corresponde em torno de 125 g de massa de raízes, a relação é de 1:1. A partir desta dose, a relação raiz parte aérea continua diminuindo e a produção de massa da parte aérea continua crescendo (FIGURA 8 B).

A massa total e o IQD apresentaram respostas quadrática com ponto de máxima em 1400 mg dm⁻³ de P e 1155 mg dm⁻³ de P, respectivamente (FIGURA 8 C).



*, ** Figuras A e B - Significativo pelo Teste de Tukey ($\alpha=5\%$ e $\alpha=1\%$, respectivamente).

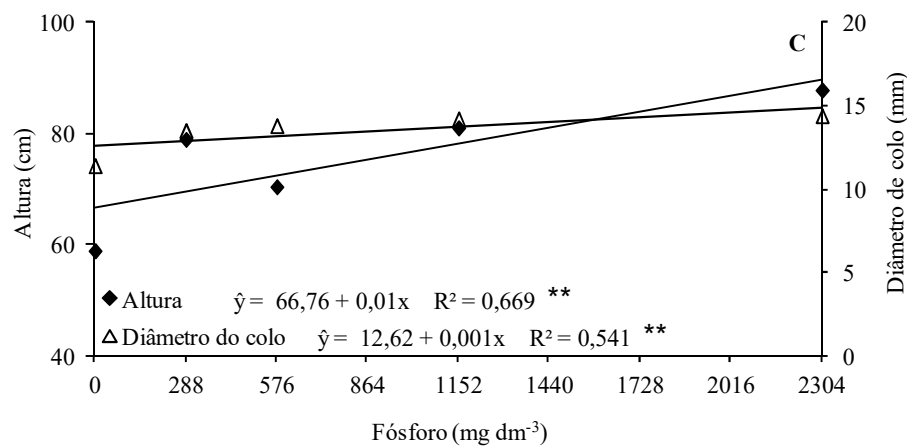
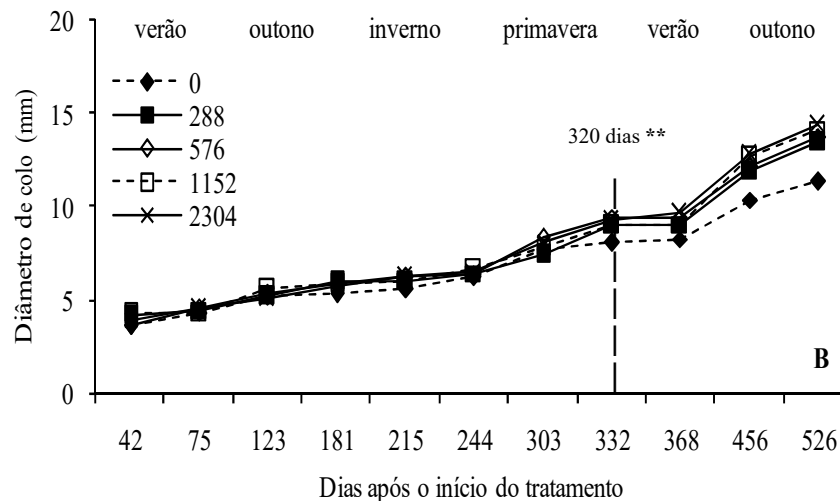


FIGURA 7 - EFEITO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NO CRESCIMENTO DE MUDAS DE *A. angustifolia* MANTIDAS EM VASOS: A e B) CURVAS DE CRESCIMENTO EM ALTURA E DIÂMETRO OBTIDAS DE 11 MEDIÇÕES NO PERÍODO DE 526 DIAS APÓS A ADUBAÇÃO; C) ALTURA E DIÂMETRO DE MUDAS COM 21 MESES DE IDADE.

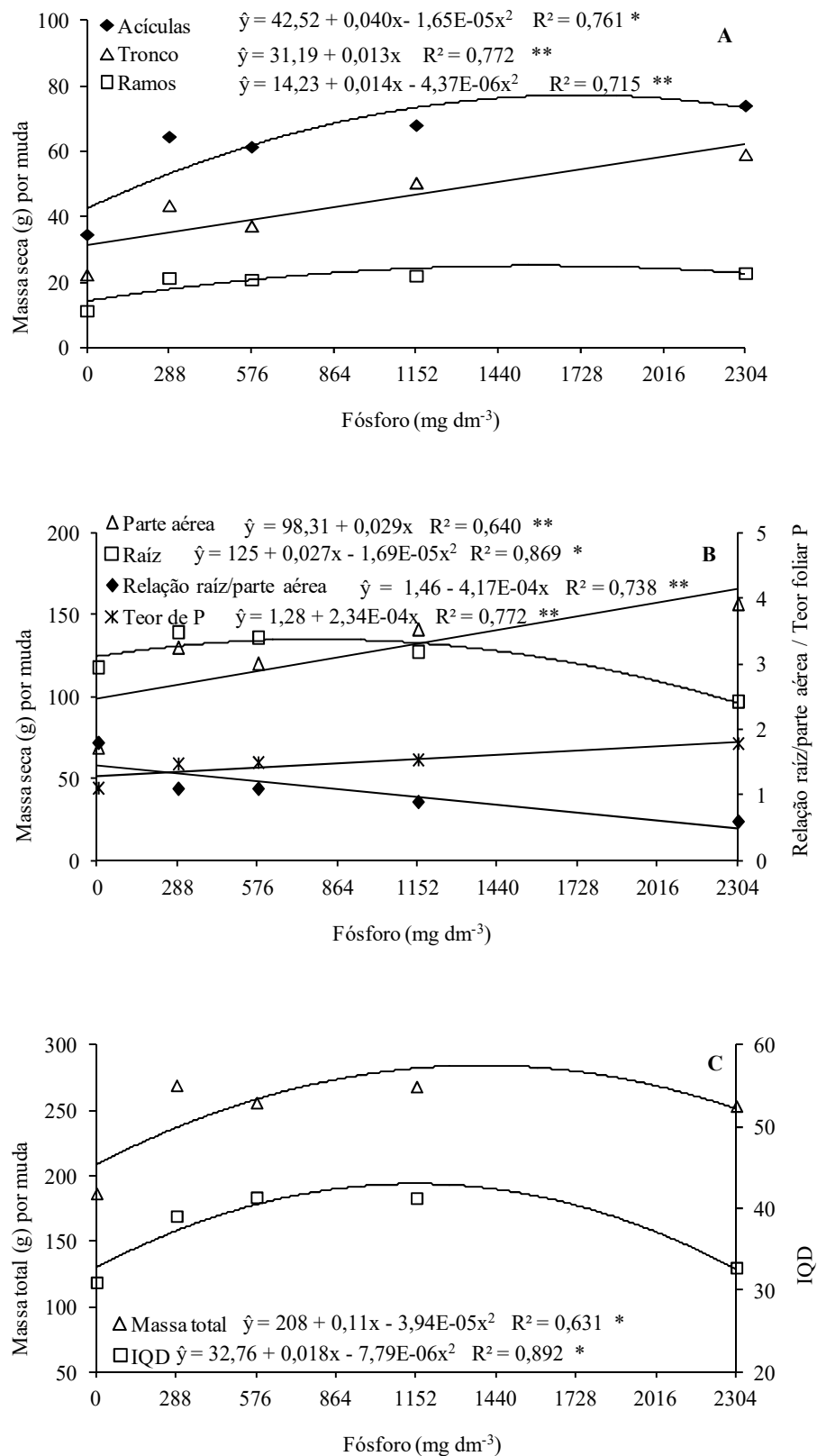


FIGURA 8 - EFEITO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NA PRODUÇÃO DE MASSA SECA E PARÂMETROS DE QUALIDADE EM MUDAS DE *A. angustifolia* DE 21 MESES DE IDADE MANTIDAS EM VASOS.

3.6 DISCUSSÃO: ADUBAÇÃO FOSFATADA

O efeito do P sobre o crescimento das mudas de araucária era esperado visto que o valor de P disponível no solo era muito baixo, assim como a grande maioria dos solos tropicais.

Ocupando uma posição central no metabolismo das plantas, o fósforo é constituinte de muitos compostos, sendo também importante no armazenamento e transferência de energia, fotossíntese, regulação de atividade enzimática, entre outros (ZHANG; LIAO; LUCAS, 2014). O P é fundamental para a planta, principalmente no período inicial de crescimento (GRANT et al., 2001), no entanto, sua disponibilidade só resultou em resposta linear significativa (*) aos 170 dias depois da adubação, promovendo crescimento em altura nas mudas de araucária (FIGURA 7 A). Isto porque, provavelmente, no início as mudas não possuíam raízes ativas suficientes para absorver o P disponível. A resposta mais efetiva/significativa (**) ao fornecimento de P ocorreu depois de 320 dias do plantio, tanto para a altura das mudas, como para o diâmetro de colo (FIGURA 7 A e B), e reflete o crescimento e alongamento do sistema radicular em busca do P, uma vez que este elemento é relativamente imóvel no solo, permanecendo próximo do local em que foi colocado (ABEL; TICCONI; DELATORRE, 2002; SILVA; DELATORRE, 2009). Isto evidencia a importância do crescimento e da arquitetura das raízes na absorção de P (RAGHOTHAMA, 1999).

Os resultados de altura e diâmetro de colo de mudas de araucária adubadas com P e sem P estão de acordo com os trabalhos de Renó et al. (1993); Venturin, Souza e Macedo (2005) e Carlos et al. (2013), que também constataram menor crescimento em espécies florestais nativas quando omitiram o elemento. O crescimento em altura de *P. pinaster* também foi severamente limitado pelo fornecimento de P, mas não pelo de N ou K (WARREN; MCGRATH; ADAMS, 2005). Logo, fica clara sua importância na composição de compostos biológicos relacionados ao crescimento e desenvolvimento das plantas (EPSTEIN; BLOOM, 2004).

De acordo com Taiz e Zeiger (2004) o P desempenha papel importante na produção de energia, que por sua vez é utilizada pela planta nos processos fisiológicos responsáveis pelo crescimento. Assim, de acordo com a FIGURA 7 C, que representa a reta de crescimento em altura e diâmetro de colo, o fornecimento de doses maiores de P tem potencial para promover ainda mais o crescimento das mudas. No entanto, é importante garantir um balanço entre sistema radicular e copa, evitando o estiolamento das mudas.

A biomassa de acículas se correlacionou positivamente ($r^2 = 0,79 *$) (ANEXO 2) com o comprimento do maior ramo, que por sua vez, também foi influenciado pelo fornecimento de P. Assim, quanto maior o ramo, maior é a quantidade de acículas, o que explica o aumento da biomassa desta partição.

A resposta linear da fração tronco em parte é explicada pela resposta linear do crescimento em altura e diâmetro de colo das mudas e, também, do comprimento dos entrenós, que também respondeu de forma linear.

A resposta de crescimento da biomassa dos ramos pode ser explicada, em parte, pelo comprimento dos ramos, uma vez que este parâmetro também respondeu de forma quadrática ao fornecimento de P.

A biomassa da parte aérea, por sua vez, é composta pela biomassa das partições acículas, ramos e tronco. Sua resposta, aparentemente foi influenciada pela biomassa do tronco que respondeu linearmente ao fornecimento de P, que por sua vez foi influenciado pelo crescimento linear dos entrenós, cujo incremento foi de 69% superior ao tratamento que omitiu o P.

Na omissão de P há um favorecimento do crescimento das raízes em detrimento da parte aérea. Significa que a redução no crescimento por efeito da deficiência de P foi maior na parte aérea da araucária que nas raízes. Utilizando como modelo a arábida (*Arabidopsis thaliana*) pode-se tentar explicar a resposta destas duas partições. Nessa planta o efeito da omissão de P reflete significativamente na divisão celular. O número de células em divisão na raiz principal reduz-se sem P no meio. A redução da divisão celular no meristema da raiz principal deve alterar o balanço hormonal, reduzindo a dominância apical e favorecendo a iniciação de raízes laterais. Há aumento da densidade de raízes laterais e também no número de pelos radiculares nas plantas que estão crescendo sob deficiência de P (SÁNCHEZ-CALDERÓN et al., 2005). Respeitando as particularidades de cada espécie, esse comportamento sugere modificação na estratégia de ocupação do solo e pode ajudar explicar a relação raiz parte aérea verificada neste trabalho com araucária (FIGURA 8 B).

A partir do momento em que o elemento é disponibilizado e/ou interceptado pelo sistema radicular, há um crescimento linear da biomassa da parte aérea e quadrático da biomassa de raízes, ao mesmo tempo em que a relação raiz parte aérea diminui de forma linear. Isso demonstra a importância do crescimento e arquitetura das raízes na exploração de P do solo (RAGHOTHAMA, 1999).

Quando o fornecimento atinge 1150 mg dm^{-3} de P, que corresponde em torno de 125 g de biomassa de raízes, a relação é de 1:1, indicando um balanço entre raiz e parte aérea muito importante para a qualidade da muda, conforme demonstrado pelo IQD (FIGURA 8 C). A partir desta dose, a relação raiz parte aérea continua diminuindo e a produção de biomassa da parte aérea continua crescendo, tal qual o crescimento em altura das mudas, o que exige maior atenção para evitar o estiolamento das mudas.

A resposta quadrática do teor de P nas acículas indica sensibilidade da araucária ao fornecimento deste elemento. Resende et al. (2000) também verificaram elevadas concentrações foliares de P para aroeira, jacaré e ipê amarelo, indicando que essas espécies são bastante exigentes em P e, portanto, tem crescimento limitado em solos de baixa fertilidade.

Analizando a curva dada pela equação de regressão (FIGURA 8 C), observa-se que a planta respondeu significativamente ao efeito da adubação com P, apresentando um comportamento quadrático. Com o aumento das doses há uma resposta na produção de massa total seca até um determinado limite, representado pela dose de máxima eficiência técnica, cujo valor é de 1377 mg dm^{-3} de P. Esse comportamento também foi encontrado nos trabalhos de Barroso et al. (1998), Cruz, Paiva e Guerrero (2006), Marques et al. (2006) e Rossa et al. (2011), que avaliaram a resposta do crescimento de diversas espécies nativas em função do aumento gradual de fertilizantes e notaram diminuição do incremento até ausência em função do suprimento de P. Isso evidencia que as plantas apresentam um máximo crescimento biológico e que não crescem na mesma proporção em que se aplica o fertilizante.

Com relação aos sintomas de deficiência de P, Simões e Couto (1973) em trabalho com araucária relatam que a deficiência de fósforo revelou-se nas plantas por um aspecto geral de desequilíbrio nutricional resultando em drástica redução no crescimento quando comparadas com as plantas nutridas com solução completa. As folhas novas, apesar de pouco desenvolvidas, persistiam com verde normal. A clorose iniciou-se, também pelas folhas mais velhas, partindo do ápice para a base, e sobrevivendo, como no caso anterior, uma coloração parda, porém, mais escura e culminando com a morte e secamento dos ramos laterais, enquanto, o caule continuava vivo. Houve impedimento na formação de ramos secundários, assim como, pequeno desenvolvimento da gema terminal e surgindo indícios de brotação lateral à altura do colo. De modo similar, os resultados deste trabalho (FIGURA 9) mostram que na testemunha (omissão de P) houve redução de crescimento, coloração parda das acículas, ramos secundários escassos, e pequeno desenvolvimento da gema terminal,

culminando com segmentos de entrenó mais curto em relação às demais plantas. Este resultado confirma a importância deste elemento para o crescimento e qualidade da planta, conforme destacado pelo IQD (FIGURA 8 C).



FIGURA 9 - ASPECTO DE MUDAS DE *A. angustifolia* ADUBADAS COM DIFERENTES NÍVEIS DE P E DOSES FIXAS DE N (1400 mg dm^{-3}) E DE K (776 mg dm^{-3}), AOS 21 MESES DA ADUBAÇÃO. FONTE: O autor (2015).

A reposta quadrática do IQD indica que há diferença entre tratamentos para a qualidade das mudas e que a dose no ponto de máxima (1155 mg dm^{-3} de P), nas condições deste experimento, é a quantidade necessária deste elemento para promover o crescimento satisfatório das mudas de araucária, tanto da parte aérea, como do sistema radicular (FIGURA 8 C). Acima desta dose ainda houve sinais de aumento da altura, do diâmetro e, principalmente, da massa total até o ponto de máxima igual a 1377 mg dm^{-3} de P (FIGURA 8 C). Porém, em seguida houve queda na produção da massa total, indicando que a dose ideal de P pode girar entre 1155 e 1377 mg dm^{-3} . Doses muito maiores podem comprometer a qualidade das mudas conforme indicado pelo IQD. O reflexo disso é o crescimento desbalanceado entre raízes e parte aérea, conforme destacado na FIGURA 8 B e sinalizado na FIGURA 9 com a muda que recebeu 2304 mg dm^{-3} de P se mostrando com um aspecto alongado, caracterizando uma muda de menor qualidade.

A erva-mate também foi sensível ao fornecimento de P, respondendo melhor que N e K quando aplicado o equivalente a 450 mg dm⁻³ de P (SANTIN et al., 2008). As diferenças observadas entre as espécies refletem suas exigências nutricionais.

3.7 RESULTADOS: ADUBAÇÃO POTÁSSICA

Apesar do fornecimento de K ter afetado o teor foliar em araucária promovendo uma resposta quadrática de acordo com a equação $\hat{y} = 5,908 + 1,431x - 0,044x^2$ ($R^2 = 0,933$ **), com ponto de máxima eficiência técnica (1020 mg dm⁻³ de K), não foi verificado efeito em nenhum dos parâmetros de crescimento da araucária (TABELA 2).

TABELA 2 - EFEITO DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA NO CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE *A. angustifolia* MANTIDAS EM VASO AOS 21 MESES DA ADUBAÇÃO.

Trat.	Alt.	Diâm.	Acícula		Acícula	Tronco	Ramos	P.a.	Raíz	M. total	raiz/p.a	Teor foliar	IQD
(mg dm ⁻³)	(cm)	(mm)	Largura (mm)	Compr. (cm)								(g kg ⁻¹)	
0	73.8 ^{ns}	14.6 ^{ns}	3.8 ^{ns}	8.0 ^{ns}	69.3 ^{ns}	24.7 ^{ns}	52.5 ^{ns}	147 ^{ns}	110 ^{ns}	257 ^{ns}	0.8 ^{ns}	4.8 ^{**}	38.1 ^{ns}
194	70.8	13.2	3.6	7.3	58.5	18.1	45.7	122	95	217	0.8	11.1	33.2
388	73.6	14.4	3.7	7.7	73.3	25.3	52.6	151	125	276	0.8	14.1	41.9
776	81.8	14.9	4.5	7.9	77.5	23.1	62.2	163	117	280	0.7	15.7	38.7
1562	75.9	13.3	3.7	7.4	65.9	24.0	50.4	140	117	258	0.8	14.2	39.3

ns – não significativo

Onde: Trat. (tratamento); Alt. (altura); Diâm. (diâmetro); Compr. (comprimento); P.a (parte aérea); M. total (massa total); raiz/p.a (relação raiz parte aérea); IQD (índice de qualidade de Dickson).

3.8 DISCUSSÃO: ADUBAÇÃO POTÁSSICA

Apesar do K apresentar grande importância para as plantas, principalmente em relação ao regulamento osmótico e controle dos estômatos, os resultados deste experimento indicam que a araucária não respondeu em termos de crescimento da parte aérea e raiz, contrastando com o grande incremento no teor foliar.

Simões e Couto (1973) relatam que o aspecto geral de mudas de araucária deficientes em potássio foi pouco diferente do normal, tal qual verificado neste trabalho (FIGURA 10). Segundo aqueles autores, as partes terminais mostravam bom vigor e coloração verde normal. O desenvolvimento em altura era reduzido, resultando internódios curtos. Os ramos laterais superiores eram inseridos em ângulos agudos, enquanto os inferiores, em ângulos obtusos em

relação à o eixo da planta, eram longos e com ramificação secundária pouco frequente. As folhas mais velhas, além de menores, mostravam amarelecimento nas extremidades chegando à cor parda, no ápice. Na base do caule apareciam folhas inteiramente pardas, porém, esparsas.



FIGURA 10 - ASPECTO DE MUDAS DE *A. angustifolia* ADUBADAS COM DIFERENTES NÍVEIS DE K E DOSE FIXA DE P (1152 mg dm⁻³) E DE N (700 mg dm⁻³).
FONTE: O autor (2015)

De maneira geral, nesse trabalho, o efeito apresentado entre a omissão e a dose máxima de K foi muito pouco perceptível, a não ser uma sutil diferença no ângulo da ramificação e no tamanho dos entrenós das plantas onde o K foi omitido. Também foi observado ressecamento nas acículas dos ramos inferiores e um leve amarelecimento que foram comuns a todas as plantas. Portanto, corrobora os dados quanto a falta de resposta aos tratamentos.

Ausência de resposta ao uso de K tem sido frequente para espécies florestais (RENÓ et al., 1993; VIEIRA, 2011; CARLOS et al., 2013). Contudo, acréscimos foliares são comuns, visto que, K caracteriza-se por apresentar "consumo de luxo", ou seja, acréscimo no tecido mesmo quando há adequada nutrição da planta (VAN DEN DRIESSCHE, 1974).

No caso da araucária, é importante destacar que a falta de resposta à adubação em termos de crescimento ocorre mesmo com a baixa disponibilidade de K no solo, indicando

uma elevada capacidade da planta na extração de K. Ainda, o teor foliar de 4,8 g/kg nas mudas não adubadas, sugere um baixo requerimento de K (TABELA 2).

3.9 RESULTADOS E DISCUSSÃO: DISTRIBUIÇÃO DE ELEMENTOS EM ACÍCULAS DE ARAUCÁRIA

A composição de acículas de mesma idade das acículas coletadas para análise microscópica é apresentada na TABELA 3, confirmando a baixa disponibilidade de K e P no solo.

TABELA 3 - MÉDIA E DESVIO PADRÃO DA CONCENTRAÇÃO DE ELEMENTOS EM ACÍCULAS DE MUDAS DE *A. angustifolia* CULTIVADAS POR 21 MESES COM BAIXA DISPONIBILIDADE DE P (- P), K (- K) E TRATAMENTO CONTROLE COM ALTA DISPONIBILIDADE DE P E K NO SOLO (CONTROLE).

Tratamento	K ¹	Ca	Mg	P	Fe	Mn	Zn
Controle	13,255±2031	7,660±304	2,942±332	1,793±168	79±14	103±26	14±2.76
-K	4,778±357	24,624±4644	6,305±941	1,559±99	101±30	427±160	14±2.75
-P	14,878±961	9,022±1542	2,904±310	1,112±64	104±27	165±88	15±4.18
	Cu	B	Cr	Si	Al	Ba	Ti
Controle	1.94±0.22	10±1.86	0.66±0.19	96±9	75±9	11±0.96	1.83±0.43
-K	2.67±0.48	15±1.89	0.34±0.08	135±35	109±40	26±4	1.40±0.49
-P	2.57±0.47	19±2.87	1.77±1.15	115±25	98±26	19±6	1.27±0.25

¹Unidade dos elementos (mg kg⁻¹).

As concentrações relativas de P, K e Ca nos quatro tecidos das acículas são apresentadas na FIGURA 11. Os baixos valores de P nos tecidos das acículas de plantas cultivadas estão concatenados com a baixa concentração total desse nutriente nas acículas (TABELA 3). Em adição, o tratamento sem P foi o único em que esse elemento não foi detectado no mesófilo esponjoso e na epiderme abaxial (FIGURA 11 A). Ao contrário do nosso estudo, onde não ocorreu variação entre os tecidos especializados, Conn e Gilliam (2010) reportam que poáceas apresentam acúmulo de P no mesófilo, enquanto dicotiledôneas acumulam P na epiderme.

Nas plantas de *A. angustifolia* com baixa disponibilidade de P no solo a concentração relativa de K no mesófilo esponjoso das acículas foi maior na comparação entre os tecidos especializados e na comparação ao tratamento controle e na baixa disponibilidade de K (FIGURA 11 B).

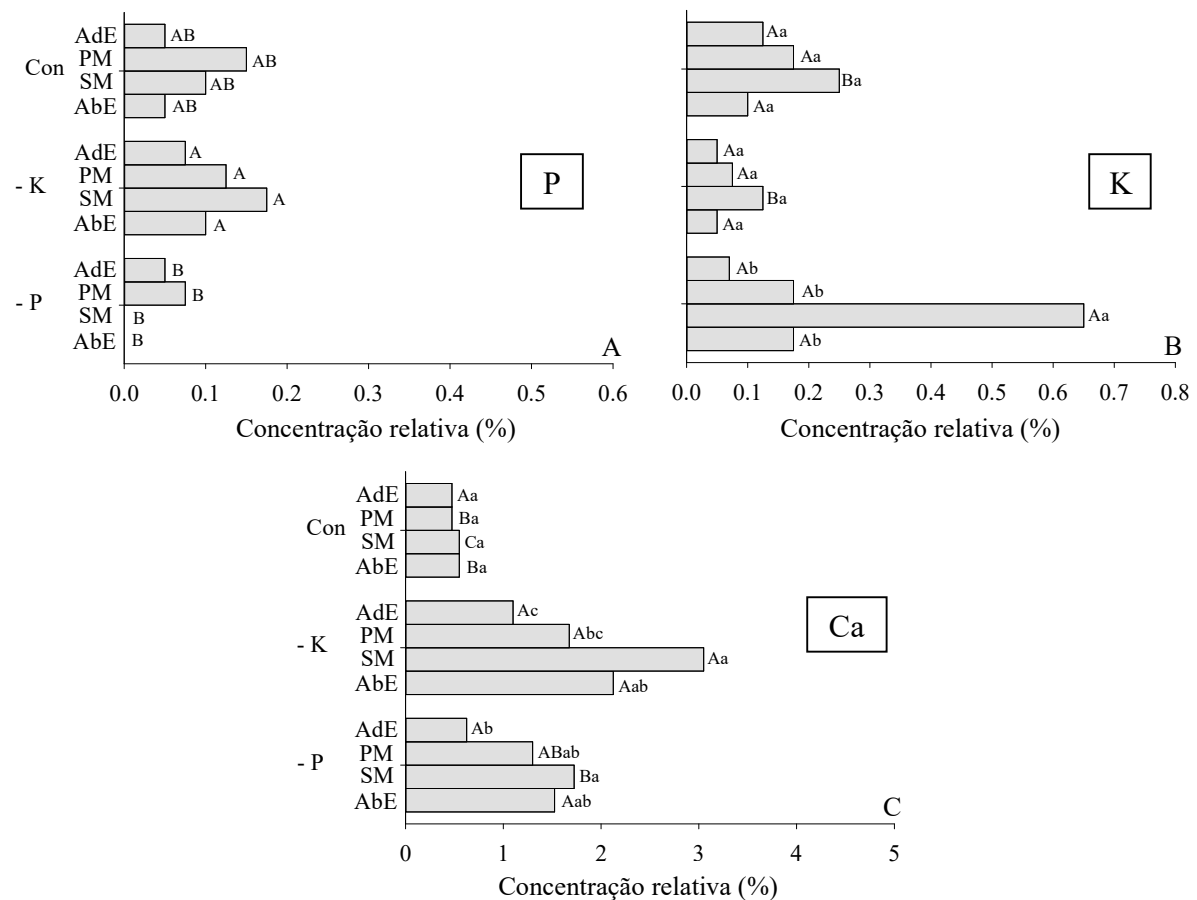


FIGURA 11 - CONCENTRAÇÃO RELATIVA (%) DE FÓSFORO (A), POTÁSSIO (B) E CÁLCIO (C) NA EPIDERME ADAXIAL (AdE), MESÓFILO PALIÇÁDICO (PM), MESÓFILO ESPONJOSO (SM) E EPIDERME ABAXIAL (AbE) DE ACÍCULAS DE *A. angustifolia* CULTIVADA COM BAIXA DISPONIBILIDADE DE P (- P), K (- K) E TRATAMENTO CONTROLE COM ALTA DISPONIBILIDADE DE P E K NO SOLO (CON).

Onde: letras maiúsculas (efeito de estado nutricional) seguidas por letras iguais e, letras minúsculas (efeito de regiões dentro das acículas) seguidas por letras iguais não diferem pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na baixa disponibilidade de P no solo também ocorreram os maiores teores de K nas acículas (TABELA 3). Assim, é possível que a baixa disponibilidade de P tenha favorecido o descarregamento de K do xilema para mesófilo, através da bainha vascular (KARLEY; LEIGH; SANDERES, 2000) e o acúmulo no mesófilo esponjoso. Ainda, esse resultado pode ter relação com o baixo crescimento da planta no solo com baixa disponibilidade de P. Contudo, vale ressaltar que as concentrações de K determinadas por EDS são baixas, sendo próximas as de P, por exemplo. Isso indica que parte do K foi perdida durante o processo de fixação, provavelmente por que esse elemento se encontra principalmente em formas livres nas células vegetais (TAIZ et al., 2015).

Considerando as variações entre tratamentos, os resultados de Ca com a microanálise por EDS (FIGURA 11 C) seguiram a mesma tendência das concentrações totais de Ca nas

acículas (TABELA 3), ou seja, alta concentração para o tratamento com baixa disponibilidade de K. A competição desses dois nutrientes pela absorção através do sistema radicular, onde a falta de um favorece a absorção do outro, é bastante conhecida na literatura e foi constatada por Simões e Couto (1973) em *A. angustifolia*. Com relação ao acúmulo de Ca no mesófilo esponjoso, Rios et al. (2012) constataram em folhas de *Brassica rapa* que o Ca acumulou no mesófilo paliçádico quando a disponibilidade na solução nutritiva foi alta, enquanto que em baixa disponibilidade a distribuição de Ca na folha foi homogênea. Contudo, o sítio de maior acumulação de Ca é variável entre espécies: epiderme para *Camellia sinensis* (TOLRÀ et al., 2011); mesófilo para dicotiledôneas (CONN; GILLIHAM, 2010); na epiderme e no mesófilo para a espécie hiperacumuladora de Zn e Cd, *Noccaea caerulescens* (DINH et al., 2015).

As concentrações relativas de C nos tecidos especializados das acículas da *A. angustifolia* foram de 61% até 69% e seguiram a seguinte ordem decrescente: epiderme adaxial > epiderme abaxial > mesófilo paliçádico > mesófilo esponjoso (FIGURA 12 A). As concentrações relativas de O variaram entre 29% e 35% de acordo com a seguinte ordem decrescente: mesófilo esponjoso > epiderme abaxial > mesófilo paliçádico > epiderme adaxial (FIGURA 12 B). Assim, de maneira geral, os maiores valores de C corresponderam os menores valores de O e vice-versa.

Com relação à composição, a epiderme é constituída por biomoléculas estruturais ricas em C (como lignina, celulose e pectina) em concentrações superiores as verificadas no mesófilo (REGVAR et al., 2013). Assim, a diferenciação nas concentrações de C e O entre epiderme e mesófilo (FIGURA 12 A e 12 B) deve-se principalmente a composição bioquímica de cada tipo de tecido especializado. Em termos biológicos, pode-se inferir que esses resultados são congruentes com a funcionalidade de cada tipo de célula. Nesse sentido, maiores concentrações de biomoléculas ricas em C conferem resistência para as camadas exteriores de tecidos das acículas (epidermes; sobretudo a epiderme adaxial), protegendo as camadas internas (mesófilo), que são responsáveis pela fotossíntese (EVERT, 2006).

As concentrações relativas de S nos tecidos especializados das acículas da *A. angustifolia* variaram de 0,05% até 0,42%, sendo superiores no mesófilo paliçádico em comparação aos demais tipos de tecidos especializados (FIGURA 12 C). Conn e Gilliam (2010) reportam maiores concentrações de S no mesófilo em comparação a epiderme de folhas de poáceas e dicotiledôneas. Similarmente, em *Thlaspi praecox* (Cd/Zn hyperaccumulator), Vogel-Mikuš et al. (2008) verificaram acúmulo preferencial de S no mesófilo, principalmente no mesófilo paliçádico.

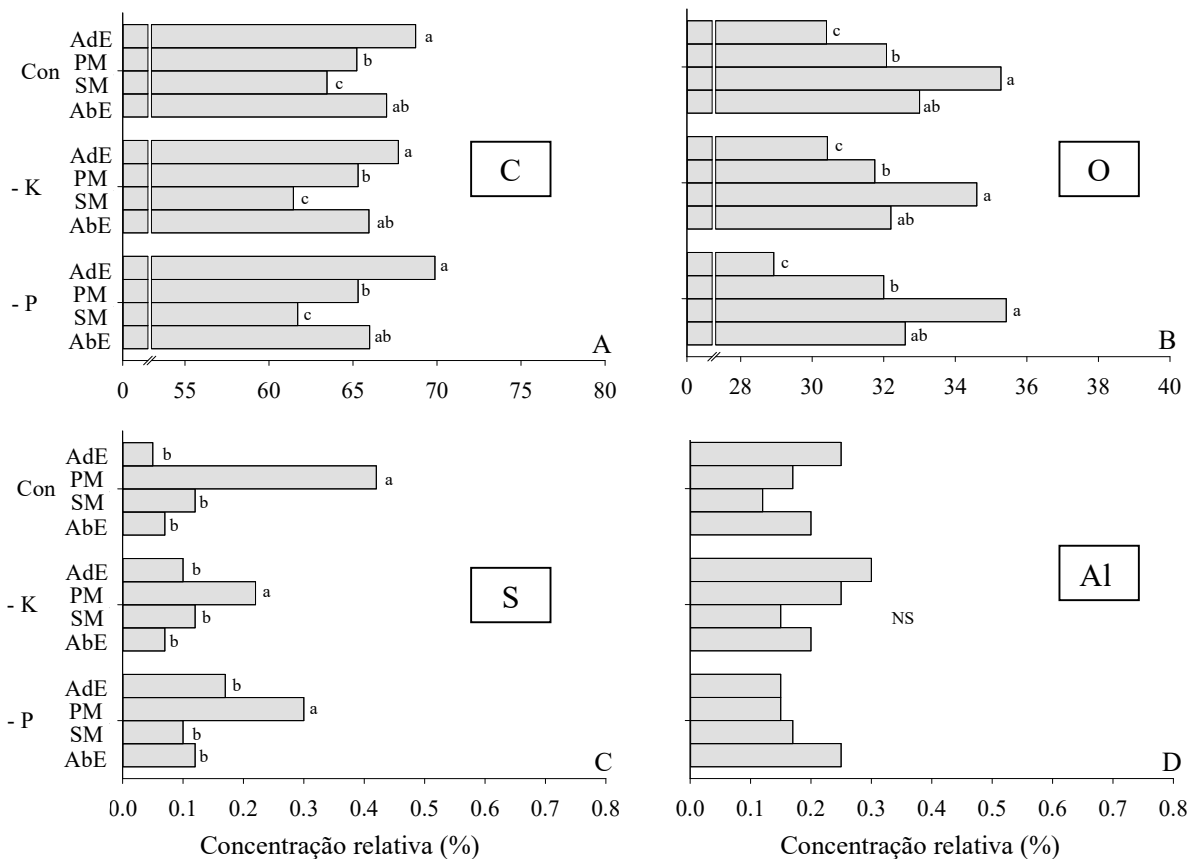


FIGURA 12 - CONCENTRAÇÃO RELATIVA (%) DE CARBONO (A), OXIGÊNIO (B), ENXOFRE (C) E ALUMÍNIO (D) NA EPIDERMES ADAXIAL (AdE), MESÓFILO PALIÇÁDICO (PM), MESÓFILO ESPONJOSO (SM) E EPIDERMES ABAXIAL (AbE) DE ACÍCULAS DE *A. angustifolia* CULTIVADA COM BAIXA DISPONIBILIDADE DE P (- P), K (- K) E TRATAMENTO CONTROLE COM ALTA DISPONIBILIDADE DE P E K NO SOLO (CON).

Onde: letras maiúsculas (efeito de estado nutricional) seguidas por letras iguais e, letras minúsculas (efeito de regiões dentro das acículas) seguidas por letras iguais não diferem pelo Teste de Tukey ($p < 0.05$). NS: não significativo.

De maneira geral as concentrações relativas do Al que variaram entre 0,12% e 0,30% não foram afetadas significativamente nem pelos tipos de tecidos especializados nem estado nutricional (FIGURA 12 D). Em plantas que toleram altas concentrações nas folhas, como o chá-preto [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze], o Al é frequentemente acumulado na epiderme (TOLRÀ et al., 2011). Conforme Leitenmaier e Küpper (2013), para uma ampla gama de espécies que acumulam metais nas folhas o principal sítio de acumulação é a epiderme, embora em algumas espécies ocorra acúmulo no mesófilo. Na condição mais comum (acúmulo na epiderme), é provável que os metais não consigam ser descarregados do xilema das nervuras para o mesófilo por via simplástica, assim, são transportados por extensões das nervuras para a epiderme por via apoplástica (KARLEY; LEIGH; SANDERES, 2000).

Durante as microanálises das acículas da *A. angustifolia* com estado nutricional contrastante foram visualizados por microfotografias diversos cristais, principalmente no mesófilo (FIGURA 13). Foi registrado que: nas acículas das plantas do tratamento com baixa disponibilidade de K ocorreu maior densidade desses cristais em comparação aos demais tratamentos; nas plantas com baixa disponibilidade de P foram observados mais cristais que no tratamento controle.

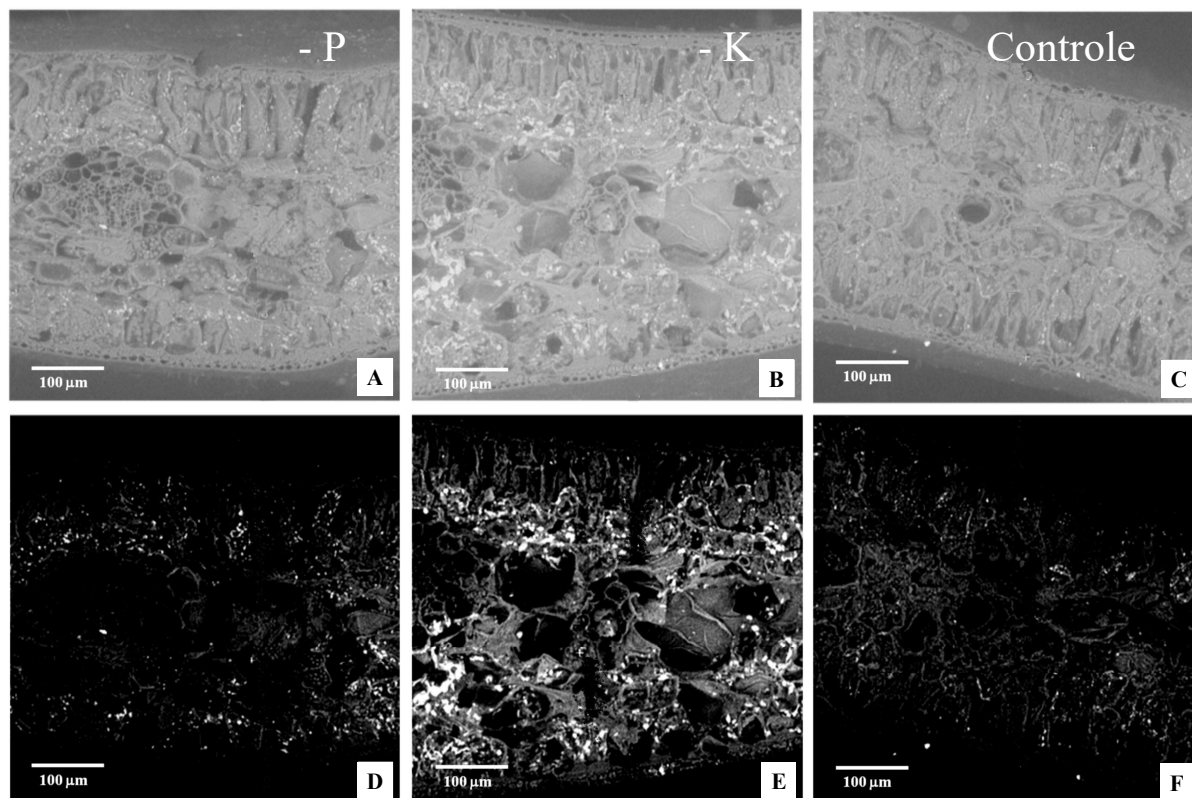


FIGURA 13 - FOTOMICROGRAFIAS DE ACÍCULAS (EM CORTE TRANSVERSAL) DE *A. angustifolia* CULTIVADA COM BAIXA DISPONIBILIDADE DE P (A; D), K (B; E) E TRATAMENTO CONTROLE COM ALTA DISPONIBILIDADE DE PK NO SOLO (C; F). A, B, C: FOTOMICROGRAFIAS OBTIDAS COM MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA EM BAIXO VÁCUO. D, E, F: SÃO AS MESMAS FOTOMICROGRAFIAS A, B, C COM DIMINUIÇÃO DE BRILHO (- 40%) E AUMENTO DE CONTRASTE (80%).
FONTE: O autor (2015).

Pelo fracionamento do Ca em acículas de espécie conífera [*Picea abies* (L.) Karst.], Fink (1991) constatou que as concentrações de Ca solúvel em água não variaram com a disponibilidade do elemento, apesar da ampla variação nas concentrações de Ca-oxalato (solo ácido: 8,7 g kg⁻¹ Ca; solo calcário: 12,7 g kg⁻¹ Ca) após extração com HCl. No mesmo estudo, o autor encontrou cristais de Ca ocorrendo na porção extracelular nos espaços intercelulares, ao longo da parede celular. Nesse sentido, há evidências neste trabalho da regulação da disponibilidade de Ca nas acículas, pois a alta densidade de cristais nas acículas das plantas

do tratamento com baixa disponibilidade de K (FIGURA 13 B) ocorreu devido às elevadas concentrações totais de Ca (24624 mg kg^{-1}) nas acículas (TABELA 3). Em adição, nas plantas com baixa disponibilidade de P ocorreu maior densidade de cristais do que nas plantas do tratamento controle (FIGURA 13 A), o que pode ser explicado pela variação nas concentrações totais de Ca ($-P = 9022 \text{ mg kg}^{-1}$; controle = 7660 mg kg^{-1}) nas acículas (TABELA 3). Vale destacar que os cristais encontrados provavelmente sejam de oxalato de Ca, pois cristais de carbonato de Ca normalmente não resistem ao processo de fixação das amostras quando o fixador contém ácido acético (LERSTEN; HORNER, 2011), como no presente estudo.

De maneira geral, os principais elementos contidos nos cristais foram C, O e Ca, sendo que o somatório dos três elementos representou em média 98% da composição dos cristais (FIGURA 14; TABELA 4).

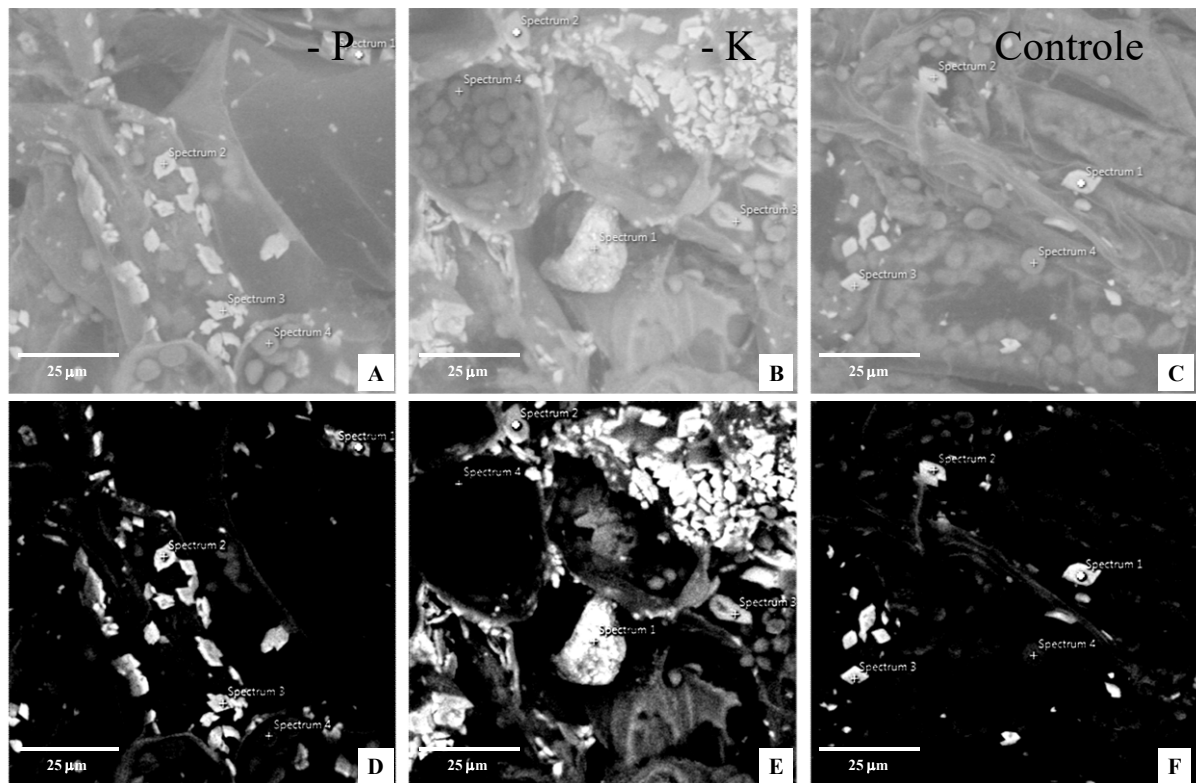


FIGURA 14 - FOTOMICROGRAFIAS DA REGIÃO DO MESÓFILO DE ACÍCULAS DE *A. angustifolia* CULTIVADA COM BAIXA DISPONIBILIDADE DE P (A; D), K (B; E) E TRATAMENTO CONTROLE COM ALTA DISPONIBILIDADE DE PK NO SOLO (C; F). A, B, C: FOTOMICROGRAFIAS OBTIDAS COM MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA EM BAIXO VÁCUO. D, E, F: SÃO AS MESMAS FOTOMICROGRAFIAS A, B, C COM DIMINUIÇÃO DE BRILHO (- 40%) E AUMENTO DE CONTRASTE (80%). AS INDICAÇÕES DE SPETRUM (CRISTAIS: 1, 2, 3; GRÃO DE AMIDO: 4) SÃO OS PONTOS SELECIONADOS PARA DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO ELEMENTAR. FONTE: O autor (2015).

TABELA 4 - COMPOSIÇÃO ELEMENTAR RELATIVA (%) DE CRISTAIS ESTRUTURAIS ENCONTRADOS NO MESÓFILO DE ACÍCULAS DE *A. angustifolia* CULTIVADA COM BAIXA DISPONIBILIDADE DE P (-P), K (-K) E TRATAMENTO CONTROLE COM ALTA DISPONIBILIDADE DE P E K NO SOLO.

Elementos	-P				-K				Controle			
	1 ¹	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
C	57,31	55,30	53,01	63,83	54,51	46,97	46,98	54,97	55,26	59,12	55,42	66,21
O	36,08	37,67	39,55	34,13	28,80	36,66	35,93	37,29	36,70	36,76	36,33	32,15
Ca	6,10	6,53	6,89	1,56	5,61	15,67	16,22	6,71	7,25	3,00	7,40	0,57
Fe	-	-	-	-	3,82	-	-	-	-	-	-	-
Al	0,20	0,20	0,19	0,21	2,79	0,21	0,29	0,30	0,48	0,62	0,48	0,50
Si	-	-	-	-	2,41	0,10	0,18	0,11	-	0,09	-	-
Cl	-	-	-	-	0,67	-	-	-	-	-	-	-
K	0,16	0,13	0,15	0,14	0,50	-	-	-	0,11	0,15	0,08	0,13
S	0,15	0,13	0,14	0,13	0,30	0,13	0,12	0,22	0,12	0,16	0,15	0,20
P	-	-	-	-	0,27	0,09	0,12	0,20	-	0,11	0,12	0,18
Mg	-	-	-	-	0,16	0,15	0,17	0,20	-	-	-	-
Na	-	-	0,06	-	0,16	-	-	-	0,08	-	-	0,08
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

¹ Os números 1, 2, 3 e 4 correspondem aos pontos indicados na Figura 14 seguindo a mesma numeração.

Com relação ao C e ao Ca foi possível constatar diferenciação em função do estado nutricional de *A. angustifolia*, sendo que no tratamento com baixa disponibilidade de K as concentrações relativas de C e Ca de dois cristais (números 2 e 3) foram, respectivamente, inferiores e superiores em comparação aos cristais (números 1, 2 e 3) dos demais tratamentos. Portanto, nas acículas com maiores concentrações de Ca (TABELA 3), além de ser registrada maior densidade de cristais (FIGURA 13) também ocorreram cristais mais ricos no elemento. Esses resultados confirmam a importância da formação de cristais de Ca na regulação da disponibilidade desse elemento (HE et al., 2014), indicando que a *A. angustifolia* provavelmente seja uma planta oxálica com relação ao tipo fisiológico de nutrição do Ca (WHITE, 2005).

Com relação aos demais elementos detectados nos cristais de oxalato de Ca das acículas da *A. angustifolia*, apenas P, K e Mg (TABELA 4) mostraram influência do estado nutricional: nas plantas com baixa disponibilidade de P nenhum dos cristais apresentou P em sua constituição; na condição com baixa disponibilidade de K no solo, apenas em um cristal foi detectado a presença de K; na baixa disponibilidade de K foi detectado Mg nos cristais. Assim, devido a baixa disponibilidade de P e K no solo, não ocorreu significativa incorporação desses elementos na estrutura dos cristais, o que corrobora com as menores concentrações totais nas acículas da *A. angustifolia* (TABELA 3). Por outro lado, nas plantas

com baixa disponibilidade de K (TABELA 4), devido ao aumento na concentração total de Mg nas acículas e, secundariamente Si, ocorreu incorporação de Mg e Si na estrutura dos cristais. Apesar das concentrações de P, K, Mg e Si nos cristais ser baixas e semelhantes as verificadas nas estruturas celulares, é provável que o processo de formação de cristais pode influenciar no equilíbrio da disponibilidade desses elementos em nível celular. Isso também deve ocorrer para o S, pois esse nutriente foi encontrado em todos os cristais (TABELA 4). Outros estudos verificaram a presença P, K, Mg e S em cristais, contudo, em algumas espécies vegetais altas concentrações desses elementos são reportadas na literatura especializada (SILVA; AGUIAR-DIAS; MENDONÇA, 2014; HE et al., 2014; ENSIKAT; GEISLER; WEIGEND, 2016).

Em todos os cristais analisados foi detectado Al (TABELA 4), com destaque para um dos cristais das acículas de plantas cultivadas com baixa disponibilidade de K, que teve 2,79% de Al na constituição. Em adição, apenas no cristal com alto teor de Al foi detectado Fe (3,82%) e Cl (0,67%). Tal fato sugere que alguns cristais são compostos orgânicos multi-elementares. No caso do Al, o sequestro desse elemento potencialmente tóxico na estrutura dos cristais pode ser benéfico para a planta, tendo em vista que seria uma forma de inativar o Al em formas insolúveis. Assim, o sequestro de Al em cristais pode ser um meio para as espécies nativas de solos ácidos, como *A. angustifolia*, tolerar a maior disponibilidade de Al no solo. Esse mecanismo de inativação também deve ser considerado válido para o Fe, pois o elemento apresenta alta disponibilidade em alguns solos ácidos. Embora neste trabalho o cristal contendo Fe não apresentou uma forma definida, é importante destacar que em solo com excesso de Fe, McClean et al. (2001) encontraram dentro de folhas e estames de *Festuca* spp. cristais de magnetita [Fe_3O_4], ϵ - Fe_2O_3 , hematita [α - Fe_2O_3] e ferrato hexaidratado de cálcio (calcium ferrate hexahydrate) [$3\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$]. Além disso, tem sido reportado acúmulo de diversos outros elementos em cristais presentes em tecidos vegetais: Mn, Cu, V, Ti, Ba, Sr, Cd, Pb, Zn (HE et al., 2014; HE et al., 2015).

A alteração das microfotografias (diminuição de 40% do brilho e elevação de 80% do contraste) obtidas por MEV em baixo vácuo permitiu melhor visualização dos cristais nas acículas da *A. angustifolia* (FIGURA 13 D, E, F). Isso só foi possível por que essas microfotografias foram realizadas em baixo vácuo e sem metalização. Com a alteração de imagem explorada no presente estudo, as microfotografias ficaram similares (em capacidade de destacar os cristais da matriz orgânica do tecido vegetal) aquelas obtidas com tecido

vegetal clareado e visualizado por microscopia de luz polarizada (LERSTEN; HORNER, 2011; SILVA; AGUIAR-DIAS; MENDONÇA, 2014).

3.10 CONCLUSÕES: ADUBAÇÃO NITROGENADA

1. Mudanças de araucária são sensíveis ao fornecimento de N, respondendo de forma linear na produção de biomassa total, porém o crescimento em altura e o diâmetro do colo não são bons parâmetros para avaliação da necessidade de N.
2. O fornecimento de N estimulou crescimento da parte aérea e raízes em intensidades similares, não interferindo assim, na relação raiz e parte aérea.
3. O IRC medido pelo clorofilômetro pode ser utilizado para avaliação rápida de N nas acículas de araucária, porém, recomenda-se fazer a calibração com o teor de clorofila extraível e conteúdo foliar de N.
4. O IQD se mostrou adequado como parâmetro para diferenciar a qualidade de mudas de araucária adubadas com N.
5. Os principais sintomas de deficiência de N em mudas de araucária de 27 meses de idade mantidas em vaso são a clorose acentuada e a inibição da produção de massa total.

3.11 CONCLUSÕES: ADUBAÇÃO FOSFATADA

1. Mudanças de araucária são sensíveis ao fornecimento de P no estágio inicial de crescimento;
2. Na omissão de P a relação raiz x parte aérea em mudas de araucária produzidas em vasos é maior. No entanto, o fornecimento de aproximadamente 1155 mg dm^{-3} de P promove uma relação balanceada que reflete na qualidade das mudas e na maior produção de biomassa total, nas condições deste experimento;
3. Ao considerar o equilíbrio na distribuição da fitomassa, o IQD é capaz de evidenciar a diferença na qualidade de mudas adubadas com P. Conforme este índice, o fornecimento de aproximadamente 1155 mg dm^{-3} de P resulta em mudas de melhor qualidade durante a fase de viveiro.
4. Os principais sintomas de deficiência de P em mudas de araucária de 27 meses mantidas em vaso são a redução de crescimento, coloração parda das acículas, ramos secundários escassos e pequeno desenvolvimento da gema terminal, culminando com segmentos de entrenó mais curto.

3.12 CONCLUSÕES: ADUBAÇÃO POTÁSSICA

1. A araucária é pouca exigente em relação ao fornecimento de K. No entanto, a reserva do elemento nas acículas pode estar relacionada a uma condição de consumo de luxo da espécie em relação aos parâmetros de crescimento.
2. O aspecto geral de mudas de araucária deficientes em K é pouco diferente da condição onde o elemento é disponibilizado.

3.13 CONCLUSÃO: DISTRIBUIÇÃO DE ELEMENTOS EM ACÍCULAS DE ARAUCÁRIA

1. A disponibilidade de P e K no solo afeta a acumulação de elementos em acículas de araucária, sendo que o tipo de tecido e a formação de cristais são chaves para a dinâmica de nutrientes nas acículas. Na baixa disponibilidade de P e K, esses elementos são encontrados em baixas concentrações na epiderme, no mesófilo e em cristais. Na condição com baixa disponibilidade de K no solo, o aumento das concentrações de Ca e Mg nas acículas promove uma grande elevação na concentração de Ca no mesófilo esponjoso e na formação de cristais, sendo que os cristais apresentaram mais Ca e Mg. Já na condição com baixa disponibilidade de P ocorre acúmulo de K e Ca no mesófilo esponjoso e uma pequena elevação na formação de cristais. Os demais elementos detectados nos tecidos especializados (C, O, S, Al) e na estrutura dos cristais (C, O, Fe, Al, Si, Cl, S, Na) não apresentam evidente alteração devido a disponibilidade de nutrientes no solo.

REFERÊNCIAS

- ABEL, S.; TICCONI, C. A.; DELATORRE, C. A. Phosphate sensing in higher plants. **Physiol. Plant.** 115, 2002.
- ASSUMPÇÃO NET, A. **Plastocrono e filocrono aparente anual em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., no Município de Colombo – PR.** 2008. 55 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Federal do Paraná – Curitiba, 2008.
- BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. A.; MARINHO, C. S.; LELES, P. S. S.; NEVES, J. C. L.; CARVALHO, A. J. C. Efeitos da adubação em mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) e aroeira (*Schinus terebinthifolius*) produzidas em substrato constituído por resíduos agroindustriais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 22, n. 4, p. 433-441, 1998.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa nº 6, de 23 de setembro de 2008. **Lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 24 set. 2008. Seção 1, p. 75-83.
- BRDE (Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul). Cultivo da *Araucaria angustifolia*: viabilidade econômica-financeira. Florianópolis: BRDE, 2005. 53 p.
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, v. 30, n. 2, p. 365-372, 2000.
- CALDEIRA, M. V. W.; ROSA, G. N. da; FENILLI, T. A. B.; HARBS, R. M. P. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 27-33, 2008.
- CARLOS, L.; VENTURIN, N.; MACEDO, R. L. G.; HIGASHIKAWA, E. M. Crescimento e nutrição mineral de mudas de barbatimão sob efeito da omissão de nutrientes. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 43, n. 4, p. 559-568, out./dez. 2013.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003. 1039 p.
- CARVALHO, M. da C. S.; FERREIRA, G. B.; STAUT, L. A. Nutrição, calagem e adubação do algodoeiro. In: FREIRE, E. C. (Ed.). **Algodão no cerrado do Brasil.** 2. ed. rev. ampl. Aparecida de Goiânia: Mundial Gráfica, 2011. p. 677-752.
- CASSANA, F. F.; DILLENBURG, L. R. The periodic wetting of leaves enhances water relations and growth of the long-lived conifer *Araucaria angustifolia*. **Plant Biology** 15, p. 75-83, 2013.
- CECONI, D. E.; POLETTO, I.; LOVATO, T.; MUNIZ, M. F. B. Exigência nutricional de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) à adubação fosfatada. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 1, p. 25-32, 2007.

CHAPMAN, S.C.; BARRETO, H.J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, n. 4, p. 557-562, 1997.

CONN, S.; GILLIHAM, M. Comparative physiology of elemental distributions in plants. **Annals of Botany**, v. 105, p. 1081-1102, 2010.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA N° 278/2001**. Dispõe contra corte e exploração de espécies ameaçadas de extinção da flora da Mata Atlântica. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n. 138, p. 51-52, 18 jul. 2001.

CRUZ, C. A. F.; PAIVA, H. N.; GUERRERO, R. A. Efeito da adubação nitrogenada na produção de mudas de sete-cascas (*Samanea inopinata* (Harms) Ducke). **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 30, n. 4, p. 537-546, 2006.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.

DINH, N.; VU, D. T.; MULLIGAN, D.; NGUYEN, A. V. Accumulation and distribution of zinc in the leaves and roots of the hyperaccumulator *Nocca caerulea*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 110, p. 85-95, 2015.

ENSIKAT, H-J.; GEISLER, T.; WEIGEND, M. A first report of hydroxylated apatite as structural biomineral in Loasaceae-plants' teeth against herbivores. **Scientific reports**, v. 6, 2016.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2004. 403 p.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras: UFLA / FAEPE, 2005. 183 p.

FERREIRA, G. B.; SANTOS, A. C. M.; XAVIER, R. M.; FERREIRA, M. M.; SEVERINO, L. S.; BELTRÃO, N. E. M.; DANTAS, J. P.; MORAES, C. R. A. Deficiência de fósforo e potássio na mamona (*Ricinus communis* L.): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande, PB. **Anais...** Campina Grande, PB, 2004. CD-ROM.

FINK, S. The micromorphological distribution of bound calcium in needles of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.]. **New Phytologist**, v. 119, p. 33-40, 1991.

GARBIN, M. L.; DILLENBURG, L. R. Effects of different nitrogen sources on growth, chlorophyll concentration, nitrate reductase activity and carbon and nitrogen distribution in *Araucaria angustifolia*. **Braz. J. Plant Physiol.**, 20(4), p. 295-303, 2008.

GONÇALVES, J. L. M.; BENETTI, V. (Ed.). **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba: IPEF/ESALQ, 2005.

GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, n. 95, set/2001.

HE, H.; VENEKLAAS, E. J.; KUO, J.; LAMBERS, H. Physiological and ecological significance of biomineralization in plants. **Trends in Plant Science**, v. 19, n. 3, p. 166-174, 2014.

HE, H.; KIRILAK, Y.; KUO, J.; LAMBERS, H. Accumulation and precipitation of magnesium, calcium, and sulfur in two *Acacia* (Leguminosae; Mimosoideae) species grown in different substrates proposed for mine-site rehabilitation. **American Journal of Botany**, 102(2), p. 290-301, 2015.

HUANG, J. F.; HE, K.; CUI, R. J.; BURESH, B.; XU, W.; GONG, S.; PENG, S. Determination of optimal nitrogen rate for rice varieties using a chlorophyll meter. **Field Crops Research** 105, p. 70-80, 2008.

IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources). **The IUCN Red List of Threatened Species: *Araucaria angustifolia*** (published in 2013). Disponível em <<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T32975A2829141.en>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

KARLEY, A. J.; LEIGH, R. A.; SANDERES, D. Where do all the ions go? The cellular basis of differential ion accumulation in leaf cells. **Trends in Plant Science**, v. 5, n. 11, p. 465-470, 2000.

KOCH, Z.; CORRÊA, M. C. **Araucária: a floresta do Brasil Meridional**. 2. ed. Curitiba: Olhar Brasileiro, 2010, 168 p.

LE BAIL, M.; JEUFFROY, M. H.; BOUCHARD, C.; BARBOTTIN, A. Is it possible to forecast the grain quality and yield of different varieties of winter wheat from Minolta SPAD meter measurements? **European Journal of Agronomy** 23, p. 379-391, 2005.

LEITENMAIER, B.; KÜPPER, H. Compartmentation and complexation of metals in hyperaccumulator plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, Article 374, 2013.

LIU, Z. A.; YANG, J. P.; YANG, Z. C. Using a chlorophyll meter to estimate tea chlorophyll and nitrogen contents. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 12 (2), p. 339-348, 2012.

LISBOA, A. C.; SANTOS, P. S. dos; NETO, S. N. de O.; CASTRO, D. N. de; ABREU, A. H. M. de. Efeito do volume de tubetes na produção de mudas de *Calophyllum brasiliense* E *Toona ciliata*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 36, n. 4, p. 603-609, 2012.

MARQUES, V. B.; PAIVA, H. N.; GOMES, J. M.; NEVES, J. C.; BERNARDINO, D. C. S. Efeito de fontes e doses de nitrogênio sobre o crescimento inicial e qualidade de mudas de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All. ex Benth.). **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 30, n. 5, p. 725-735, 2006.

MCCLEAN, R. G.; SCHOFIELD, M. A.; KEAN, W. F.; SOMMER, C. V.; ROBERTSON, D. P.; TOTH, D.; GAJDARDZISKA-JOSIFOVSKA, M. Botanical iron minerals: correlation between nanocrystal structure and modes of biological self-assembly. **European Journal of Mineralogy**, Stuttgart, v. 13, p. 1235-1242, 2001.

MENDONÇA, A. V. R.; NOGUEIRA, F. D.; VENTURIN, N.; SOUZA, J. S.. Exigências nutricionais de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All (aroeira do sertão). **Cerne**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 65-75, 1999.

MONTAGNA, T.; FERREIRA, D. K.; STEINER, F.; SILVA, F. A. L. S. da; BITTENCOURT, R.; SILVA, J. Z. da; MANTOVANI, A.; REIS, M. S. dos. A importância das unidades de conservação na manutenção da diversidade genética de araucária no Estado de SC. **Biodiversidade Brasileira**, 2 (2), p. 17-24, 2012.

MOREIRA-SOUZA, M. & CARDOSO, E. J. B. N. Dependência micorrízica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze sob doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo** 26, p. 905-912, 2001.

MORETTI, B. da S.; FURTINI NETO, A. E.; BENATTI, B. P.; DECCETTI, S.; LACERDA, J. J. de J.; STEHLING, E. de C. Nitrogen, potassium and phosphorous fertilizer suggestions for australian red cedar in oxisol. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 45, n. 3, p. 599-608, jul./set. 2015.

PITCHER, J. Les ressources génétiques de l'espèce *Araucaria angustifolia* au Brésil. Ressources Génétiques Forestières, n. 2, **FAO** (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura), Roma, 1973. Disponível em <<http://www.fao.org/3/a-e4209f/E4209F10.htm#ch9>>. Acesso em: 30 jan. 2017.

RAGHOTHAMA, K. G. Phosphate acquisition. **Annual Rev. Plant Physiology and Plant Mol. Biol.** v. 50, p. 665-693, 1999.

RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

RAKSSA, M. L.; SANTOS, L. J. C. Estudo morfológico da toposequência Fazenda Canguiri, PR: subsidio para compreensão das relações solo / relevo. **VI Simpósio** de Geomorfologia / Regional Conference on Geomorphology. Goiânia – GO, setembro, 2006.

REGVAR, M.; EICHERT, D.; KAULICH, B.; GIANONCELLI, A.; PONGRAC, P.; VOGEL-MIKUŠ, K. Biochemical characterization of cell types within leaves of metal-hyperaccumulating *Noccaea praecox* (Brassicaceae). **Plant and Soil**, v. 373, p. 157-171, 2013.

RENÓ, N. B. VALE, F. R. do.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O. Requerimentos nutricionais de quatro espécies nativas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, Goiânia, 1993. **Resumos...**Goiânia: SBCS, 1993, p. 211-212.

RESENDE, A. V. de.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; MUNIZ, J. A.; FARIA, M. R. de. Acúmulo e eficiência nutricional de macronutrientes por espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta à fertilização fosfatada. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 24, n. 1, p. 160-173, 2000.

RIOS, J. J.; LOCHLAINN, S. Ó.; DEVONSHIRE, J.; GRAHAM, N. S.; HAMMOND, J. P.; KING, G. J.; WHITE, P. J.; KURUP, S.; BROADLEY, M. R. Distribution of Ca (Ca) and magnesium (Mg) in the leaves of *Brassica rapa* under varying exogenous Ca and Mg supply. **Annals of Botany**, 109(6), p. 1081-1089, 2012.

ROSSA, U. B.; ANGELO, A. C.; NOGUEIRA, A. C.; REISSMANN, C. B.; GROSSI, F.; RAMOS, M. R. Fertilizante de liberação lenta no crescimento de mudas de *Araucaria angustifolia* e *Ocotea odorifera*. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 41, n. 3, p. 491-500, 2011.

SALLA, L.; RODRIGUES, J. C.; MARENCO, R. A. Teores de clorofila em árvores tropicais determinados com o SPAD-502. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 159-161, jul. 2007.

SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; RODRIGUES, A. L.; MOGNON, M. **Floresta com araucária e suas transições: pesquisas ecológicas de longa duração**. Curitiba: Multi-Graphic, 2014, 296 p.

SÁNCHEZ-CALDERÓN, L.; LÓPEZ-BUCIO, J.; CHACÓN-LÓPEZ, A.; CRUZ-RAMÍRES, A.; NIETO-JACOBO, F. DUBROVSKY, J. G. HERRERA-ESTRELLA, L. Phosphate starvation induces a determinate developmental program in the roots of *Arabidopsis thaliana*. **Plant Cell Physiol** 46, p. 174-184, 2005.

SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; BRONDANI, G. E.; REISSMANN, C. B.; ORRUTÉA, A. G.; ROVEDA, L. F. Crescimento de mudas de erva-mate fertilizadas com N, P e K. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, p. 59-66, 2008.

SIMÕES, J. W.; COUTO, H. T. Z. Efeitos da omissão de nutrientes na alimentação mineral do pinheiro do Paraná *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze. cultivado em vaso. **Instituto de Pesquisas Florestais**, n. 7, p. 3-39, 1973.

SILVA, A. A. da; DELATORRE, C. A. Alteração na arquitetura de raízes em resposta à disponibilidade de fósforo e nitrogênio. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 8, n. 2, p. 152-163, 2009.

SILVA, H. D.; BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A.; BOGNOLA, I. A. Recomendações de solos para *Araucaria angustifolia* com base nas suas propriedades físicas e químicas. **Bol. Pesq. Fl.**, Colombo, n. 43, p. 61-74, jul./dez. 2001.

SILVA, R. J. F., AGUIAR-DIAS, A. C. A., MENDONÇA, M. S. Rosetas e concrecências cristalinas silicificadas em Piper (Piperaceae): registros inéditos de macropadrões. **Acta Amazonica**, 44(4), p. 435-446, 2014.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, p. 215-254.

SUNDSTRÖM, E.; MAGNUSSON, T.; HANELL, B. Nutrient conditions in drained peatlands along a north-south climatic gradient in Sweden. **Forest Ecology and Management** 126, p. 149-161, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E., MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Plant physiology and development**. Sinauer Associates, Incorporated, 2015, 761 p.

TOLRÀ, R.; VOGEL-MIKUS, K.; HAJIBOLAND, R.; KUMP, P.; PONGRAC, P.; KAULICH, B.; GIANONCELLI, A.; BABIN, V.; BARCELO, J.; REGVAR, M.; POSCHENRIEDER, C. Localization of aluminium in tea (*Camellia sinensis*) leaves using low energy X-ray fluorescence spectro-microscopy. **Journal of Plant Research**, v. 124, p. 165-172, 2011.

VAN DEN DRIESCHE, H. K. Prediction of mineral nutrient status of trees by foliar analysis. **The Bot. Vet.** 40 (3), p. 347-394, 1974.

VAN GOOR, C. P. **Reflorestamento com coníferas no Brasil: aspectos ecológicos das plantações na região Sul, particularmente com *Pinus elliottii* e *Araucaria angustifolia***. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Setor de Inventários Florestais, (Boletim 9), 1965, 58 p.

VENTURIN, N.; SOUZA, P. A. de.; MACEDO, R. L. G. de. Adubação mineral de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) McLeish). **Floresta**, Curitiba, v. 35, n. 2, p. 211-219, 2005.

VIEIRA, C. R. **Crescimento inicial de espécies florestais na omissão de macronutrientes**. 2011. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá - MT, 2011.

WARREN, C. R.; MCGRATH, J. F.; ADAMS, M. A. Differential effects of N, P and K on photosynthesis and partitioning of N in *Pinus pinaster* needles. **Ann. For. Sci.** 62, p. 1-8, 2005.

VOGEL-MIKUŠ, K.; SIMCIC, J.; PELICON, P.; BUDNAR, M.; KUMP, P.; NECEMER, M.; MESJASZ-PRZYBYŁOWICZ, J.; PRZYBYŁOWICZ, W. J.; REGVAR, M. Comparison of essential and non-essential element distribution in leaves of the Cd/Zn hyperaccumulator *Thlaspi praecox* as revealed by micro-PIXE. **Plant, Cell and Environment**, v. 31, p. 1484-1496, 2008.

WENDLING, I. Enxertia e florescimento precoce em *Araucaria angustifolia*. **Comunicado Técnico 272**, Embrapa Florestas, Colombo, Junho, 2011.

WENDLING, I. Tecnologia de enxertia de *Araucaria angustifolia* para produção precoce de pinhões, com plantas de porte reduzido. **Comunicado Técnico 351**, Embrapa Florestas, Colombo, Maio, 2015.

WIETHÖLTER, S.; TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; ANGHINONI, I.; BISSANI, C. A.; CAMARGO, F. A. O. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. 10 ed., Porto Alegre, 2004, 400 p. il.

ZANDAVALLI, R. B.; DILLENBURG, L. R.; SOUZA, P. V. D. Growth responses of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) to inoculation with mycorrhizal fungus *Glomus clarum*. **Applied Soil Ecology** 25, p. 245-255, 2004.

ZANETTE, F. **A araucária como fruteira para a produção de pinhões**. (Série Frutas Nativas). Jaboticabal: Funep, 2010. 25 p.

ZHANG, Z.; LIAO, H.; LUCAS, W. J. Molecular mechanisms underlying phosphate sensing, signaling and adaptation in plants. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 56, 3 ed., p. 192-220, 2014.

4 TROPISMO E MORFOLOGIA DOS RAMOS PRIMÁRIOS NA ENXERTIA DA *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE.

RESUMO

A arquitetura de copa da *Araucaria angustifolia* é caracterizada por um tronco ortotrópico e monopodial, com crescimento rítmico que produz fileiras regulares de ramos, cujo comportamento de crescimento é plagiotrópico e fixo, com tendência de se expandirem horizontalmente. A predominância de ramos plagiotrópicos tem sido apontada como impedimento para propagação vegetativa em larga escala da espécie. Propágulos obtidos a partir destes ramos propiciam plantas com crescimento inclinado e muito pouco se sabe sobre a possibilidade de reversão do tropismo e também sobre o comportamento da nova copa. A presente pesquisa teve por objetivo avaliar o crescimento, o tropismo e a morfologia de copa de araucárias enxertadas com propágulos plagiotrópicos obtidos de ramos primários. Foram avaliadas 113 plantas de araucária enxertadas com propágulos obtidos de brotações de ramos podados de plantas adultas utilizando as técnicas de garfagem e borbúlia de placa. Observou-se cicatrização, comprimento, diâmetro e tropismo do enxerto, disposição da ramificação, comportamento da copa enxertada e diâmetro do porta-enxerto. O crescimento foi variável, porém, pelo menos 10% dos enxertos mantiveram-se na vertical em avaliação aos cinco anos da enxertia. Conclui-se que a cicatrização na enxertia de propágulos plagiotrópicos em porta-enxertos ortotrópicos não interfere na sobrevivência e brotação dos ramos enxertados, o que comprova a união dos tecidos e a vascularização enxerto/porta-enxerto, apesar das diferenças morfológicas e funcionais existentes. Além disso, não há distinção no comportamento de crescimento do enxerto quando utilizada a técnica de garfagem ou borbúlia de placa. A morfologia de copa da araucária originada da enxertia com propágulos plagiotrópicos, é semelhante a de um ramo primário. A mudança do tropismo na enxertia de ramos plagiotrópicos não é suficiente para regenerar uma planta normal, a morfologia e função destes ramos constituem os principais fatores limitantes para propagação vegetativa da araucária visando a obtenção de uma planta normal.

Palavras chave: Propagação vegetativa. Arquitetura de copa. Plagiotropismo. Ortotrópico.

**TROPISM AND MORPHOLOGY
OF THE PRIMARY BRANCHES IN THE GRAFTING OF *Araucaria
angustifolia* (BERT.) O. KTZE.**

ABSTRACT

The architecture of *Araucaria angustifolia* crown is characterized by an orthotropic and monopodial trunk with rhythmic growth that produces regular rows of branches, which growth behavior is plagiotropic and fixed, with tendency of expanding horizontally. The predominance of plagiotropic branches has been pointed out as an impediment for the species vegetative propagation in large-scale. The propagules obtained from these branches provide plants with inclined growth and very little is known about the possibility of tropism reversion and also about the behavior of the new top. The present research had the objective of evaluating the growth, tropism and morphology of crown of araucarias grafted with plagiotropic propagules obtained from primary branches. A total of 113 araucaria plants grafted with propagules obtained from shoots of pruned branches of adult plants were evaluated using cleft graft and patch budding techniques. It was observed the healing, length, diameter and tropism of the graft, branching arrangement, behavior of the grafted crown and rootstock diameter. The growth was variable, however, at least 10% of the grafts remained vertically in evaluation at five years of grafting. It was concluded that the healing in the grafting of plagiotropics propagules in orthotropics rootstocks does not interfere in the survival and budding of the grafted branches, which confirms the union of the tissues and the graft/rootstock vascularization, despite the existing morphological and functional differences. In addition, there is no distinction in graft growth behavior when using the cleft and patch budding grafting technique. The crown morphology of the araucaria originated from grafting with plagiotropic propagules is similar to that of a primary branch. The change of the tropism in the grafting of plagiotropic branches is not sufficient to regenerate a normal plant, the morphology and function of these branches constitute the main limiting factors for the vegetative propagation of araucaria in order to obtain a normal plant.

Key words: Vegetative propagation. Crown architecture. Plagiotropism. Orthotropic.

4.1 INTRODUÇÃO

A *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., pertencente à família Araucariaceae é exclusiva do Hemisfério Sul e junto com a *Araucaria araucana* (Mol.) C. Koch são as únicas que ocorrem na América do Sul. Das espécies de Araucariaceae, a *A. angustifolia* é a que apresenta maior distribuição geográfica, possivelmente devido a sua diferenciação em variedades (KOCH; CORRÊA, 2002).

Árvore de grande porte, acima de 20 metros, a araucária apresenta tronco cilíndrico, raramente bifurcado. Geralmente com seis a oito ramos dispostos em verticilos bem definidos, mais distanciados entre si na base do tronco e mais próximos no ápice em plantas adultas. Nas árvores novas a ramificação forma uma copa piramidal que se reduz, por derrama natural, a um corimbo nas plantas adultas. Os galhos ou ramos primários são cilíndricos com até 10 m de comprimento e alcançando até mais de 22 cm de diâmetro, por vezes ramificados, curvos para cima nas pontas, sendo maiores os de verticilos inferiores. Na extremidade destes ramos há uma gema terminal produzindo o crescimento lateral plagiotrópico e contínuo até sua queda. Nesta região também estão agrupados, de forma alternada, ramos secundários chamados grimpas ou sapés, os quais, também podem frutificar (REITZ; KLEIN; REIS, 1979; LORENZI, 1992; CARVALHO, 1994), apesar de apresentarem tempo de vida determinado (em torno de cinco anos).

A *A. angustifolia*, em comum com outras espécies de Araucariaceae tem dois tipos de brotações, uma ortotrópica e outra plagiotrópica, altamente determinadas (HAINES; NIKLES, 1987). O crescimento plagiotrópico é muito comum em plantas que possuem forte dominância apical. Sua compreensão e sua regulação fitohormonal são limitadas (HOUSE et al., 1998; LAMOTTE; PICKARD, 2004; MCSTEEN; LEYSER, 2005). Embora o desenvolvimento dos ramos plagiotrópicos seja um componente importante na forma de muitas árvores, a maioria dos estudos de ramificação, controle apical e dominância apical concentram-se em ramos ou brotos ortotrópicos (MCSTEEN; LEYSER, 2005).

O modelo que melhor representa a arquitetura de copa da *A. angustifolia* é o modelo de “Rauh” que é caracterizado por um tronco ortotrópico e monopodial, com crescimento rítmico que produz fileiras regulares de ramos com comportamento de crescimento plagiotrópico e fixo, com tendência à expansão horizontal (HALLÉ; OLDEMANN; TOMLINSON, 1978), refletindo um padrão de organização espacial característico. Na maioria das gimnospermas essa característica de crescimento se traduz em vantagem no

transporte de assimilados e outros requisitos para manutenção da planta (CLARCK, 1983). Assim uma planta pode ser vista como um sistema de ramificação hierárquico em que os eixos podem ser agrupados em categorias, de acordo com suas características morfológicas, anatômicas ou funcionais (BARTHÉLÉMY; CARAGLIO, 2007).

Os ramos plagiotrópicos das Araucariáceas podem ser mais ou menos horizontalizados. Em *A. excelsa*, os ramos apresentam crescimento mais horizontal quando comparados com os ramos de *A. cunninghamii* e *A. robusta*. Quanto mais evidente a dominância apical da planta, maior será a canalização para o crescimento plagiotrópico. Um exemplo é a *A. angustifolia*, que apresenta uma forte dominância apical e um plagiotropismo bem caracterizado, com ramos formando ângulo de 90^0 com o eixo principal em árvores adultas (OLIVEIRA, 2010).

Quando estudaram o plagiotropismo em *Abies nordmanniana* Veierskov et al. (2007) fizeram referência a um possível mecanismo autônomo dentro do ramo como responsável pela sua orientação. No caso da araucária, o plagiotropismo foi apontado por muitos autores como fator limitante para propagação vegetativa em larga escala (GURGEL; GURGEL FILHO, 1967; KAGEYAMA; FERREIRA, 1975; IRITANI; ZANETTE; CISLINSKI, 1992; IRITANI, 1997; ANSELMINI; ZANETTE, 2008; WENDLING et al., 2009; OLIVEIRA, 2010; ZANETTE; OLIVEIRA; BIASI, 2011). No entanto, pesquisas mais recente têm demonstrado a viabilidade da enxertia em araucária, sendo que seu comportamento de crescimento e desenvolvimento é variável e dependente da origem do propágulo (ZANETTE; OLIVEIRA; BIASI, 2011; WENDLING, 2015). Diferente de enxertos obtidos do broto apical ortotrópico, todos aqueles obtidos de ramos retêm sua orientação de crescimento plagiotrópica (como ramo) (HAINES; NIKLES, 1987).

Para obter plantas com arquitetura de copa semelhante a da araucária adulta, ou seja, aquele definido pelo modelo de “Rauh” (HALLÉ; OLDEMANN; TOMLINSON, 1978) é recomendada a enxertia com material de origem ortotrópica (WENDLING, 2009; OLIVEIRA, 2010; ZANETTE; OLIVEIRA; BIASI, 2011; CONSTANTINO; ZANETTE, 2015; WENDLING, 2015). Material de origem plagiotrópica só é indicado nos casos onde a arquitetura de copa é irrelevante.

A mudança do tropismo na enxertia da araucária a partir de ramos primários parece ser variável e se caracteriza como uma atividade morfogênica pouco compreendida até o momento, principalmente relacionada às características funcionais da futura copa. Desta forma, este trabalho tem como objetivo avaliar o crescimento, o tropismo e a morfologia de

copa de araucárias enxertadas com propágulos de origem plagiotrópica obtidos de ramos primários. Espera-se com isso, fornecer subsídios para futuras pesquisas com os ramos da araucária, principalmente aquelas relacionadas à clonagem de genótipos superiores para obtenção de novos indivíduos.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre 2011 e 2014 na unidade experimental do Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo do Setor de Ciências Agrárias (latitude -25,412; longitude -49,24; altitude 911 m) e na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Paraná, no município de Pinhais (latitude -25,38; longitude -49,12; altitude 920 m).

Foram utilizadas como porta-enxertos mudas de araucária produzidas a partir de sementes. Ao atingirem 7 meses de idade as mudas foram transplantadas para vasos com capacidade de 20 e 60 litros contendo solo como substrato. Os vasos foram mantidos a pleno sol no viveiro até a época da enxertia, que ocorreu entre 1,5 e 2 anos após o transplante. Durante este período procedeu-se a limpeza e irrigação das mudas quando houve necessidade.

Para a realização dos enxertos foram utilizadas brotações induzidas pela poda da ponta de ramos primários de plantas fêmeas adultas (aproximadamente 30 anos), localizadas no viveiro do Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo da UFPR. A poda ocorreu a aproximadamente três metros do tronco em ramos do meio para base da copa (FIGURA 1).



FIGURA 1 – COLETA DE PROPÁGULOS PLAGIOTRÓPICOS: BROTAÇÕES (EM DESTAQUE) NA PONTA DE RAMO PODADO (A); BROTAÇÕES COM APROXIMADAMENTE QUATRO MESES (B); BROTAÇÕES COM OITO MESES (C).
FONTE: Flávio Zanette (2011).

A coleta dos propágulos de diversos tamanhos ocorreu sempre no dia da enxertia, a qual se deu pela técnica de “borbulhia de placa” e “garfagem em inglês complicado” (FIGURA 2).



FIGURA 2 - TÉCNICAS DE ENXERTIA: BORBULHIA DE PLACA (A, B, C); GARFAGEM EM INGLÊS COMPLICADO (D, E, F).
FONTE: Flávio Zanette (2013).

4.2.1 Enxertia por borbulhia de placa

A região subapical das plantas porta-enxerto foi preparada retirando-se as acículas numa extensão de 5 cm ao redor do tronco.

Da porção subapical das brotações (induzidas) também foram retiradas as acículas e obtidas placas com aproximadamente 2 cm de comprimento por 0,8 cm de largura.

Na região onde foram removidas as acículas dos porta-enxertos foi feito um corte em janela aberta de iguais dimensões da placa/enxerto. O enxerto foi introduzido na janela aberta e fixado com arame. O arame foi envolvido com fita plástica para criar uma câmara úmida e

evitar a desidratação na região da enxertia. Após três semanas as fitas plásticas foram removidas e os enxertos acompanhados por mais duas semanas apenas com arame. Depois deste prazo, os arames foram removidos e as plantas com indicativo de sobrevivência dos enxertos (cor esverdeada e inchaço na placa) tiveram a copa decepada imediatamente acima da região de enxertia para estimular a brotação do enxerto e formação de nova copa. Todos os procedimentos foram realizados conforme Oliveira (2010).

4.2.2 Enxertia por garfagem (Inglês complicado)

Do segmento apical das brotações induzidas foram obtidos garfos com aproximadamente 3 cm de comprimento, os quais foram preparados por corte em bisel e corte longitudinal no centro do caule para melhorar o encaixe. Cortes semelhantes foram realizados no porta-enxerto. Utilizou-se arame para união das partes e fita plástica para criação de câmara úmida no local. Sobre o enxerto foi amarrado um saco plástico par evitar desidratação do garfo.

Após três semanas da enxertia foram removidos saco e fitas plásticas, expondo os enxertos às intempéries e posteriormente o arame. Ao iniciar a brotação, parte das plantas foi mantida em vaso no viveiro e a outra foi plantada na unidade experimental da UFPR em Latossolo Vermelho Amarelo, textura argilosa, fase campo subtropical e relevo suave ondulado (Lva), de acordo com a classificação de Lemos e Silva (2005).

Foi realizada manutenção periódica para remoção das brotações do porta-enxerto, limpeza dos vasos e coroamento nas plantas mantidas no solo.

Avaliaram-se plantas enxertadas com 4, 3 e 1 ano mantidas em vaso e direto no solo, entre 2011 a 2014, totalizando 113 plantas (TABELA 1).

TABELA 1 - RELAÇÃO DE ENXERTOS COM PROPÁGULOS PLAGIOTRÓPICOS POR ANO E POR TÉCNICA DE ENXERTIA.

ANO	TÉCNICA DE ENXERTIA	QUANTIDADE
2011	GARFAGEM	11
	BORBULHIA DE PLACA	22
2012	GARFAGEM	26
	BORBULHIA DE PLACA	44
2014	GARFAGEM	0
	BORBULHIA DE PLACA	10

Foram considerados na avaliação: o comprimento da brotação, o diâmetro do enxerto e do porta-enxerto, sendo posteriormente calculado o índice de compatibilidade em diâmetro (diâmetro do enxerto / diâmetro do porta-enxerto, no local da enxertia), a cicatrização e o ângulo de crescimento das brotações (FIGURA 3).

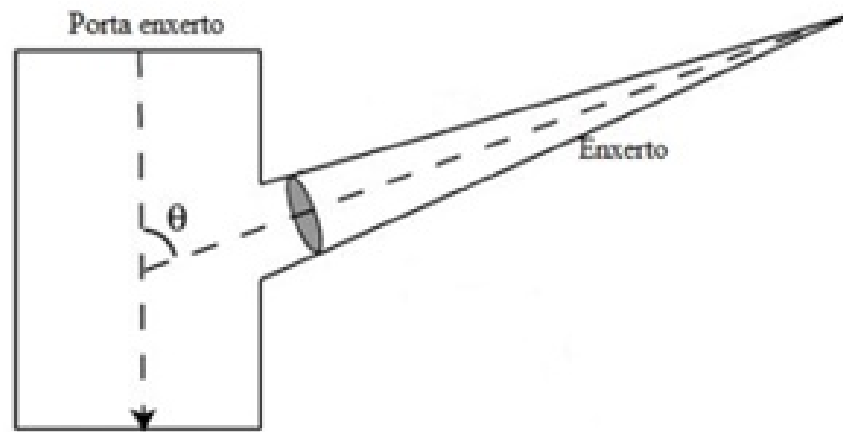


FIGURA 3 - ESQUEMA DEMONSTRATIVO PARA MEDIÇÃO DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DOS ENXERTOS

FONTE: Adaptada de Sone et al. (2006).

O ângulo foi medido posicionando-se o transferidor no centro de gravidade do tronco da planta porta-enxerto fazendo a abertura até o eixo da brotação do enxerto, conforme Sone, Noguchi e Terashima (2006). Tendo em vista a curvatura de crescimento nas pontas dos ramos enxertados, foi definido um prolongamento até 10 cm partindo do centro de gravidade do porta-enxerto como aresta que define a direção de crescimento.

4.2.3 Avaliação do crescimento na enxertia por garfagem e borbulhia de placa

Inicialmente foram avaliadas 45 plantas enxertadas em março de 2012 por borbulhia de placa (19) e garfagem (26). O delineamento foi inteiramente casualizado onde a planta foi considerada como uma repetição. Os dados de crescimento dos enxertos foram comparados pelo teste de Mann-Whitney para duas amostras independentes ($p > 0,05$) (garfagem e borbulhia de placa).

4.2.4 Avaliação do crescimento em função da idade do enxerto

Foram avaliados 113 enxertos, sendo 10 com 1 ano, 70 com 3 anos e 33 com 4 anos. Foi comparado o comprimento dos enxertos, o ângulo de crescimento (tropismo) e o índice de compatibilidade enxerto/porta-enxerto por idade. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado onde cada planta foi considerada uma repetição. Foi empregada análise de variância e teste de Tukey ($p>0,05$) para a comparação de médias. Quando não houve diferenças entre as amostras foi aplicada estatística descritiva para descrever o comportamento dos dados.

A soldadura ou cicatrização do enxerto foi classificada com base na união entre os tecidos e na presença de área ressecada no local de enxertia, de acordo com a FIGURA 4.



FIGURA 4 - PADRÃO PARA CLASSIFICAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO DOS ENXERTOS: CICATRIZAÇÃO ÓTIMA (A); CICATRIZAÇÃO INTERMEDIÁRIA (B); CICATRIZAÇÃO FRACA (C).

FONTE: O autor (2014).

A descrição morfológica e funcional dos enxertos foi realizada por avaliação visual a campo e com auxílio de fotografias, com base em grimpas, ramos e tronco.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foi identificada diferença no crescimento dos enxertos em relação às técnicas de enxertia. No entanto foi possível notar variação nos parâmetros avaliados, independente da técnica utilizada (TABELA 2).

TABELA 2 - RESUMO DESCRITIVO PARA DADOS DE CRESCIMENTO DE ENXERTOS AOS TRÊS ANOS DA ENXERTIA POR GARFAGEM E BORBULHIA DE PLACA.

Técnica	Média	Mediana	Desvio padrão
Comprimento do enxerto (cm)			
Garfagem	97,5	100 ns	29,3
Borbulhia de placa	99,0	92,5 ns	29,8
Ângulo de crescimento/tropismo (graus)			
Garfagem	17,0	15,0 ns	10,1
Borbulhia de placa	23,4	20,0 ns	14,0
Diâmetro do enxerto (mm)			
Garfagem	26,3	26,8 ns	7,1
Borbulhia de placa	23,3	20,5 ns	6,9
Diâmetro do porta-enxerto (mm)			
Garfagem	30,1	32,1 ns	8,2
Borbulhia de placa	28,1	24,8 ns	8,2
Índice de compatibilidade enxerto e porta-enxerto			
Garfagem	0,88	0,88 ns	0,08
Borbulhia de placa	0,84	0,84 ns	0,09

Letras iguais (efeito da técnica de enxertia) na coluna (mediana) indica semelhança entre os tratamentos pelo teste de Mann-Whitney ($p > 0,05$).

ns = não significativo.

Embora as técnicas de enxertia avaliadas (garfagem e borbulhia de placa) apresentem peculiaridades relacionadas ao tipo e tamanho dos propágulos e ainda na forma de contato entre enxerto e porta-enxerto, as médias de comprimento dos enxertos foram praticamente semelhantes e giraram em torno de 100 cm no terceiro ano após a enxertia (Tabela 2). A variação no comprimento dos enxertos pode estar relacionada a diversos fatores, dentre os quais, tipo e vigor dos propágulos (WENDLING, 2011). Existe um gradiente de juvenilidade da base para o ápice da copa. Propágulos obtidos de ramos localizados na porção da base da copa em princípio apresentam maior juvenilidade, portanto, são mais vigorosos do que aqueles localizados na porção superior da copa. O vigor também está associado com a idade da brotação em ramos de araucária podados. Brotações mais novas originam enxertos com crescimento mais rápido. Fatores relacionados à planta porta-enxerto como vigor, condições fitossanitárias e genéticas, também podem interferir no crescimento e desenvolvimento do enxerto (OLIVEIRA et al., 2008). Tem sido observado, também, que a época da enxertia afeta fortemente o crescimento de enxertos em araucária. Essa condição também é verificada em plantas não enxertadas (ASSUMPÇÃO NETO, 2008). Apesar disso, parece ter pouco efeito sobre a taxa de sobrevivência dos mesmos, uma vez que Wendling (2015) cita taxa

sobrevivência entre 80 e 90% enxertando entre a primavera e o verão e Constantino e Zanette (2015) obtiveram taxa de sobrevivência de 93% enxertando no inverno. Tudo indica que a enxertia realizada em época inadequada, inverno, por exemplo, pode ocorrer atraso no desenvolvimento da brotação até que surjam condições climáticas de temperatura e luz favoráveis para o crescimento.

Os ângulos de crescimento dos enxertos no terceiro ano pós-enxertia foram similares quando comparadas as técnicas de enxertia, com médias de 17 e 23,4 graus na enxertia por garfagem e borbullia de placa, respectivamente (TABELA 2). Estes resultados indicam que os propágulos retêm a característica plagiotrópica do local de onde foram obtidos, porém com certo grau de variabilidade, conforme pode ser observado pela tabela de distribuição de frequências (TABELA 3).

TABELA 3 - TABELA DE DISTRIBUIÇÃO DE FREQUENCIAS DE ÂNGULOS DE CRESCIMENTO DE ENXERTOS DE ORIGEM PLAGIOTRÓPICA COM TRÊS ANOS.

Classes (graus)	Freq.	Freq. Relativa	Freq. Percentual	Freq. acumulada
[0 ; 6)	8	0.11	11.4	11.4
[6 ; 12)	8	0.11	11.4	22.9
[12 ; 18)	12	0.17	17.1	40.0
[18 ; 24)	14	0.20	20.0	60.0
[24 ; 30)	10	0.14	14.3	74.3
[30 ; 36)	10	0.14	14.3	88.6
[36 ; 42)	1	0.01	1.4	90.0
[42 ; 48)	3	0.04	4.3	94.3
[48 ; 54)	0	0	0	94.3
[54 ; 60)	4	0.06	5.7	100

A maior frequência está situada na classe entre 18 e 24 graus, representando a forma de crescimento de 20% dos enxertos. Considerando somatório das maiores frequências, 65,7% dos enxertos apresentaram ângulo de crescimento na faixa entre 12 e 36 graus (TABELA 3), refletindo o plagiotropismo da araucária, conforme descrito por Oliveira (2010).

Os mecanismos envolvidos no plagiotropismo ainda não estão elucidados (KAGEYAMA; FERREIRA, 1975; IRITANI; ZANETTE; CISLINSKI, 1992; GUTIÉRREZ, 2006). Um sistema de regulação diferente daquele que controla naturalmente o broto terminal deve estar envolvido. Auxina, citocinina, giberelina e ácido abscísico são citados como

agentes potenciais envolvidos no crescimento plagiotrópico (STARBUCK; PROEBSTING; ROBERTS, 1983; MATSCHKE; WEISER, 1988; ALONI et al., 2004; COX et al., 2004; LAMOTTE; PICKARD, 2004), provavelmente porque atuam na expressão gênica (TOLEDO FILHO, 2012). A expressão integrada de caracteres durante o desenvolvimento, que resulta em um determinado fenótipo é uma manifestação de processos de determinação celular, seguido pela diferenciação. Determinação e diferenciação conduzem para especialização estrutural e funcional de células, tecidos e órgãos, resultado de uma expressão diferencial de genes (GOLDBERG, 1987) durante uma fase particular do desenvolvimento. Desta forma, pode-se admitir que as células indiferenciadas que constituem os polos meristemáticos nos propágulos plagiotrópicos da araucária possuem um tipo de memória celular (SINNOTT, 1952; STARBUCK; PROEBSTING; ROBERTS, 1983) provida pelo meristema apical plagiotrópico do ramo.

Embora o comportamento plagiotrópico tenha sido expressivo, pelo menos 10% dos enxertos apresentaram crescimento ortotrópico, totalizando 11,4% na classe de ângulo entre 0 e 6 graus, não havendo distinção entre plantas mantidas em vaso (FIGURA 5) ou diretamente no solo (FIGURA 6).

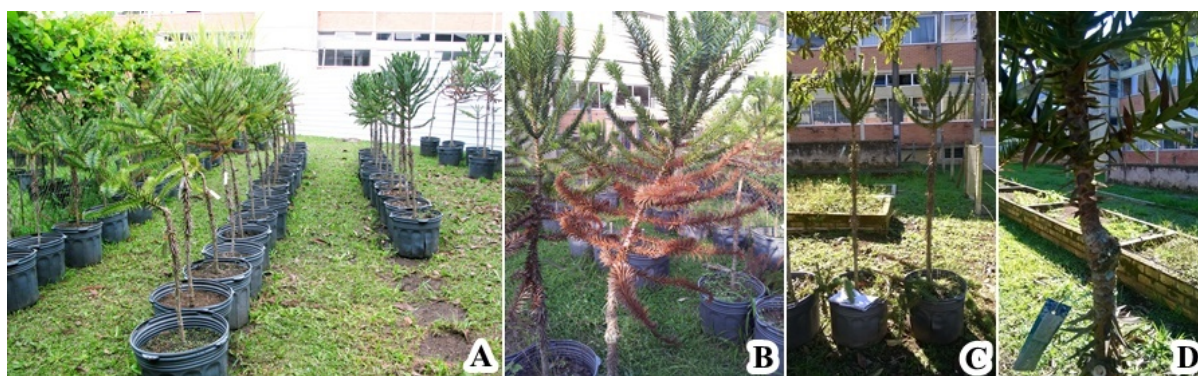


FIGURA 5 - ARAUCÁRIAS ENXERTADAS COM PROPÁGULOS PLAGIOTRÓPICOS MANTIDAS EM VASOS: A) CRESCIMENTO PLAGIOTRÓPICO (ESQUERDA), CRESCIMENTO ORTOTRÓPICO (DIREITA); B) RAMOS (GRIMPA) COM TEMPO DE VIDA DETERMINADO SECANDO NA BASE DO ENXERTO; C) PLANTAS COM CRESCIMENTO VERTICAL (ORTOTRÓPICO); D) COMPATIBILIDADE EM DIÂMETRO E QUALIDADE DA CICATRIZAÇÃO EM ENXERTO DE TRÊS ANOS.

FONTE: O autor (2013).

Uma hipótese para a manutenção dos enxertos na vertical até o terceiro ano após a enxertia está relacionada ao vigor das brotações influenciado pelo tipo, idade e posição do propágulo na copa. A poda dos ramos originou brotações juvenis e vigorosas com crescimento próximo do vertical. Portanto, propágulos obtidos destas brotações mantiveram o mesmo comportamento de crescimento depois de enxertados.

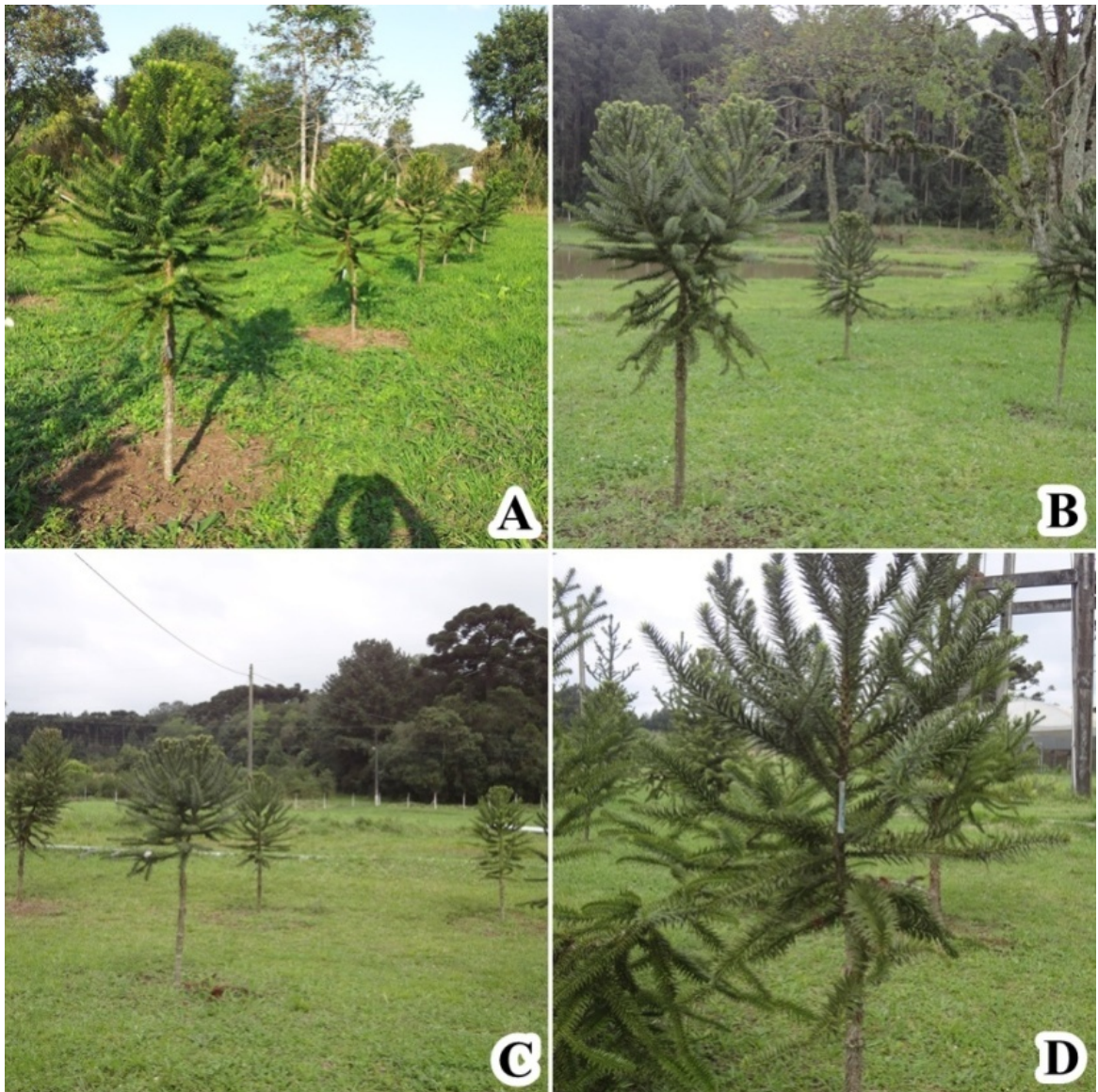
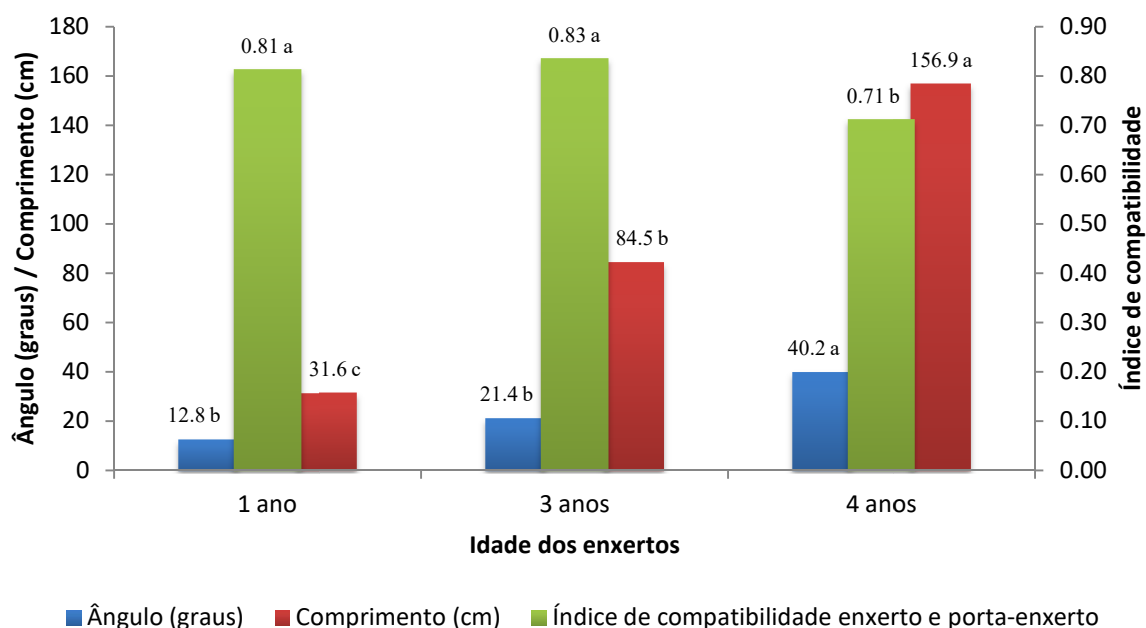


FIGURA 6 - ARAUCÁRIAS ENXERTADAS COM PROPÁGULOS PLAGIOTRÓPICOS APRESENTANDO CRESCIMENTO VERTICAL (A, C, D); ENXERTIA POR GARFAGEM COM INCLINAÇÃO DO ENXERTO (B - ESQUERDA).
 FONTE: Flávio Zanette (2015)

Foram encontradas diferenças significativas nos parâmetros de crescimento quando comparadas as idades dos enxertos (FIGURA 7). Como pode ser observado, na medida em que os enxertos crescem e se alongam, há aumento no plagiotropismo da copa da araucária. Esse comportamento é diferente do relatado por Copes (1980) ao trabalhar com a enxertia em Douglas-Fir (*Pseudotsuga menziesii*). O autor relata crescimento e a possibilidade de reversão do tropismo mais rápido, mediante o uso de porta-enxerto vigoroso. A posição da coleta do enxerto na copa, idade e condições fisiológicas da planta matriz são fatores que influenciam o crescimento e a forma da planta, mas segundo o autor não se comparam com a capacidade de promoção de crescimento do porta-enxerto.



*letras diferentes indicam diferença estatística pelo Teste de Tukey ($p > 0,05$).

FIGURA 7 - EFEITO DA IDADE DO ENXERTO SOBRE OS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO (COMPRIMENTO, ÂNGULO DE CRESCIMENTO E ÍNDICE DE COMPATIBILIDADE) NA ENXERTIA COM PROPÁGULOS PLAGIOTRÓPICOS.

De acordo com Gutierrez (2006) trabalhando com a mesma espécie, o plagiotropismo corresponde a interação de diversos fatores, dentre os quais, o grau de juvenilidade do material de origem tem papel fundamental. Diferente daquela espécie, a araucária apresenta plagiotropismo altamente determinado (HAINES; NIKLES, 1987), da mesma forma que a *Araucaria excelsa* (WAREING, 1959). Portanto, o aumento do plagiotropismo com a idade do enxerto (FIGURA 7) pode ser devido a interação entre a posição de coleta dos propágulos na copa, tipo de propágulos e, provavelmente, por um sistema de regulação interna. Inicialmente as brotações são mais vigorosas e apresentam crescimento rápido e na maioria dos casos tendendo para vertical (FIGURA 8).

Apesar do crescimento vertical, o vigor da brotação e até mesmo do porta-enxerto é incapaz de mudar definitivamente o tropismo do enxerto, uma vez que na araucária, estes estão programados para refletir as características plagiotrópicas do material de origem. Portanto, tal como ocorreria no ramo que deu origem ao enxerto, onde o ápice sempre cresce tendendo para a vertical, o aumento da idade, além de aumentar o plagiotropismo, também trás como consequência a perda gradativa da ramificação secundária (grimpas), que se inicia na base do enxerto (FIGURA 5 B). Isso ocorre devido o tempo de vida limitado das grimpas, o que comprova que o enxerto manteve as características de crescimento do local de origem.

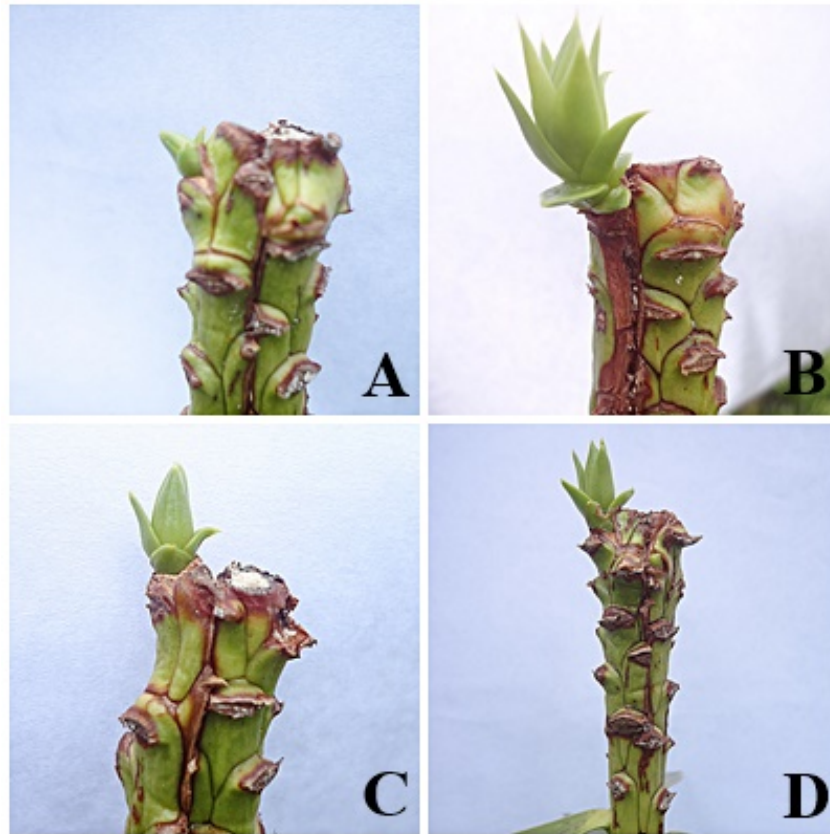


FIGURA 8 - BORBULHIA DE PLACA: (A e B) ENXERTOS DE ORIGEM PLAGIOTRÓPICA APRESENTANDO CRESCIMENTO INICIAL INCLINADO (ESQUERDA) E BROTAÇÃO VIGOROSA COM CRESCIMENTO TENDENDO PARA VERTICAL (DIREITA); (C e D) ENXERTOS DE ORIGEM ORTOTRÓPICA COM CRESCIMENTO VERTICAL. FONTE: O autor (2015).

Provavelmente a inclinação ocorrida durante o crescimento dos enxertos está relacionada à busca por um ponto de equilíbrio que é diferente entre ramos plagiotrópicos e ortotrópicos (WILSON, 2000). De acordo com o autor, um ramo plagiotrópico não vai curvar-se para vertical se a sua posição de equilíbrio está fora da vertical. Assim, um enxerto com propágulo plagiotrópico crescerá buscando sua posição de equilíbrio, que será muito próxima daquela posição do ramo de onde foi obtido. Essa tendência de crescimento horizontalizado torna-se uma barreira para propagação da espécie, pois além de não originar uma árvore completa, dificilmente as diferenças morfológicas entre enxerto e porta-enxerto irão garantir o ponto de equilíbrio do ramo por muito tempo, podendo ocorrer ruptura no local da enxertia, caso a copa não seja escorada.

Um ano após a enxertia os enxertos atingiram índice de compatibilidade em diâmetro em torno de 0,81 (FIGURA 7). Embora esse resultado demonstre o vigor da brotação no início, portanto ritmo de crescimento mais acelerado em relação ao tronco da planta porta-enxerto, pois partiu de células indiferenciadas do polo meristemático e alcançou uma relação

diâmetro do enxerto pelo diâmetro do porta-enxerto igual a 0,81, há uma tendência que a morfologia e a funcionalidade do ramo que deu origem ao enxerto venham limitar seu crescimento em espessura no futuro. O ritmo de crescimento em diâmetro permanece acelerado até o terceiro ano pós-enxertia, atingindo índice de compatibilidade entre enxerto e porta-enxerto igual a 0,83, porém, não se equiparando ao diâmetro do tronco da planta porta-enxerto. O ângulo de crescimento predominante no período de maior crescimento em diâmetro do enxerto (3 anos) variou entre 18 e 24 graus, representando 20% dos enxertos. A partir do terceiro ano houve desaceleração no crescimento em diâmetro da brotação, com índice caindo para 0,71 e aumento no ângulo de crescimento. Esse comportamento sinaliza incompatibilidade tardia, uma vez que o tronco apresenta crescimento em diâmetro indefinido e o ramo que deu origem ao enxerto, crescimento definido. Em médio e longo prazo poderão ocorrer duas situações indesejáveis, a primeira é o aumento do ângulo de crescimento do enxerto, inclusive naquelas plantas que apresentaram crescimento vertical; a segunda é a ruptura na região de enxertia, independente da qualidade da cicatrização, uma vez que o ramo continuará se alongando e aumentando de peso.

Apesar das diferenças morfológicas e funcionais entre enxerto e porta-enxerto, a cicatrização dos enxertos foi predominantemente classificada como intermediária, significa que, no geral, os tecidos estavam bem alinhados e unidos. Nos poucos casos onde houve sobras e tecidos desalinhados não houve interferência no pegamento dos enxertos. Ressalta-se, porém, que apesar da qualidade da cicatrização, poderá haver ruptura no local da enxertia em decorrência do alongamento dos enxertos e limitação do crescimento em diâmetro.

Apesar de muito citado em trabalhos anteriores como barreira para a propagação vegetativa em larga escala da araucária (GURGEL; GURGEL FILHO, 1967; KAGEYAMA; FERREIRA, 1975; IRITANI; ZANETTE; CISLINSKI, 1992; IRITANI, 1997; ANSELMINI, 2008; WENDLING et al., 2009; OLIVEIRA, 2010; ZANETTE; OLIVEIRA; BIASI, 2011), o plagiotropismo dos ramos pode ser mudado pela enxertia. De acordo com os resultados deste trabalho pelo menos 10% dos enxertos até a idade de três a quatro anos apresentaram crescimento vertical, portanto, diferente do ângulo do ramo de onde foram obtidos (FIGURA 9).

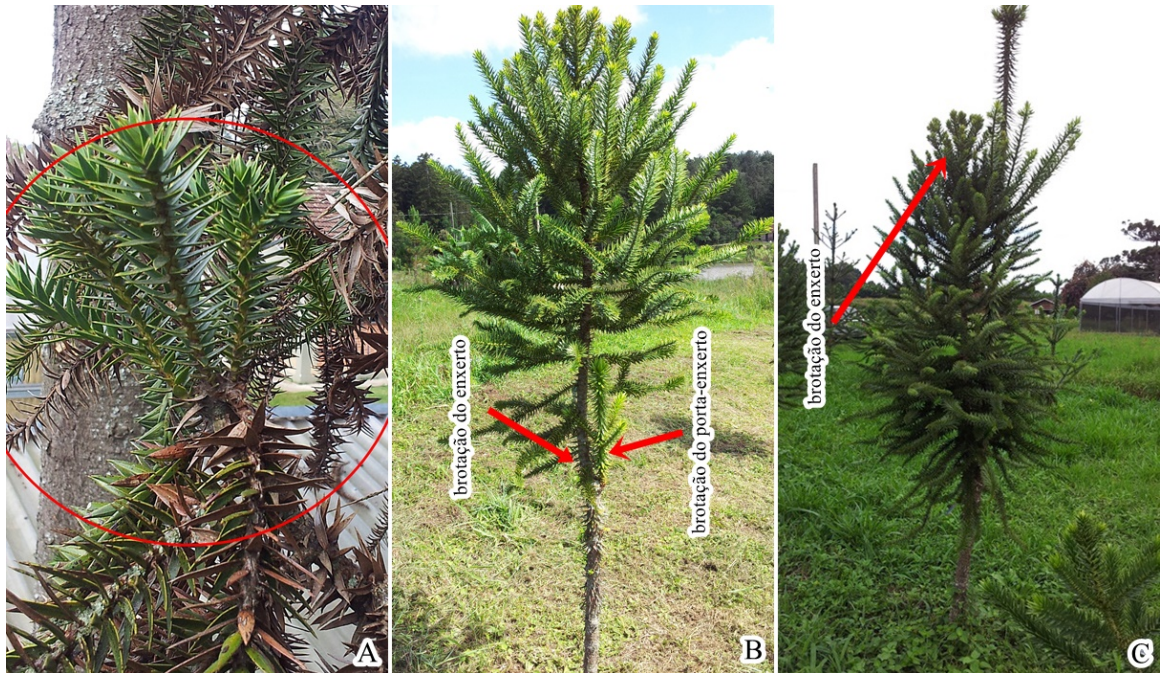


FIGURA 9 - BROTAÇÕES DE RAMO PRIMÁRIO PODADO (A); PLANTAS ENXERTADAS COM PROPÁGULOS OBTIDOS DE BROTAÇÕES DE RAMOS PODADOS DEMONSTRANDO CRESCIMENTO VERTICAL (B e C).
FONTE: Flavio Zanette (2011 e 2015).

Como a retirada dos propágulos de ramos de araucárias adultas foi feita de brotações com diferentes tamanhos e idades, isto pode ter influenciado o tropismo dos enxertos, uma vez que praticamente toda a brotação, mesmo de ramos primários plagiotrópicos de araucária, inicialmente cresce na vertical.

Apesar de parte dos enxertos apresentarem a mudança do tropismo, não resultaram em plantas completas semelhantes àquelas produzidas por via seminal. Provavelmente a competência celular nos tecidos do tronco, ramos e grimpas sejam diferentes, uma vez que a propagação vegetativa de um deles não regenera o outro.

A arquitetura da copa de todas as plantas, independente da mudança do tropismo, não correspondeu ao modelo de Rauh, descrito por Hallé, Holdemann e Tomlinson (1978). Ao invés de um tronco ortotrópico com crescimento rítmico, produzindo verticilos regulares compostos de ramos de primeira ordem com crescimento plagiotrópico, nos quais se inserem ramos de segunda ordem (FIGURA 10 A), originou uma planta, cuja arquitetura de copa é composta por um caule crescendo na vertical, porém com morfologia e função de ramo, do qual partem ramos de segunda ordem (grimpas ou sapés) com ângulo de crescimento anatrópico e tempo de vida limitado (FIGURA 10 B).



FIGURA 10 - ARAUCÁRIA PROPAGADA POR SEMENTE (A) E POR ENXERTIA COM PROPÁGULO PLAGIOTRÓPICO OBTIDO DE BROTAÇÃO DA PONTA DE RAMO PRIMÁRIO PODADO (B), COM APROXIMADAMENTE QUATRO ANOS.
FONTE: Flávio Zanette (2015).

Com base na possibilidade de mudança do tropismo e na manutenção das características do local de origem, questões de ordem morfológica e funcional do enxerto têm maior relevância na enxertia, do que propriamente o tropismo, constituindo, portanto, as principais barreiras na propagação em larga escala da araucária.

O modelo de arquitetura originado não se enquadra nos modelos tradicionais de nenhuma frutífera visando aumento de produtividade, muito menos de uma araucária conduzida para produção de pinhões, que deve ter grande quantidade de ramos produtivos, preferencialmente estendendo-se até próximo da base da planta. Mesmo com a mudança do tropismo, não existe ramificação primária típica, portanto não suporta produção de pinhões em grande quantidade. A possibilidade de clonar plantas que produzem nos ramos secundários (grimpa) poderia, em teoria, ser uma estratégia para elevar a produtividade, no entanto, não há relatos de plantas enxertadas com estas características que estejam produzindo.

O comportamento morfológico diferenciado entre enxerto e porta-enxerto, onde o primeiro tem crescimento em diâmetro determinado e o segundo indeterminado, impede uma interação perfeita entre ambos, podendo provocar no decorrer do tempo um processo de incompatibilidade (FIGURA 11). Além disso, a função da nova copa, na verdade é de um

ramo. Por estes motivos a propagação por enxertia utilizando propágulos de origem plagiotrópica é limitada.



FIGURA 11 - PROCESSO DE INCOMPATIBILIDADE EM DIÂMETROS NA ARAUCÁRIA ENXERTADA COM PROPÁGULOS OBTIDOS DE RAMOS PLAGIOTRÓPICOS.
FONTE: Flávio Zanette (2013).

O emprego da enxertia utilizando propágulos plagiotrópicos pode ser de grande valia se o objetivo for o melhoramento genético. Este tipo de enxertia produz planta com copa baixa, portanto contorna alguns problemas durante os procedimentos de polinização controlada, por exemplo. Na manutenção destas plantas é importante o escoramento da copa, pois devido seu alongamento poderá pesar e romper no local da enxertia.

4.4 CONCLUSÕES

1. A cicatrização na enxertia de propágulos plagiotrópicos em porta-enxertos ortotrópicos não interfere na sobrevivência e brotação do enxerto, apesar das diferenças morfológicas e funcionais. Além disso, não há distinção no comportamento de crescimento do enxerto quando utilizada a técnica de garfagem ou borbulhia de placa.
2. A morfologia de copa da araucária originada da enxertia com propágulos plagiotrópicos é semelhante à de um ramo primário. A mudança do tropismo não é suficiente para regenerar uma araucária com morfologia e função semelhante àquela oriunda de sementes ou de propágulos ortotrópicos, o que limita o uso de ramos plagiotrópicos na propagação da araucária.

REFERÊNCIAS

- ALONI, R.; LANGHANS, M.; ALONI, E.; ULLRICH, C. I. Role of cytokinin in the regulation of root gravitropism. **Planta**. v. 220, p. 177–182, 2004.
- ANSELMINI, J. I.; ZANETTE, F. Microenxertia e sua caracterização morfológica em *Araucaria angustifolia*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 967-973, 2008.
- ASSUMPÇÃO NETO, A. **Plastocrono e filocrono aparentes anual em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., no Município de Colombo – PR.** 2008. 55 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- BARTHÉLÉMY, D.; CARAGLIO, Y. Plant Architecture: A dynamic, multilevel and comprehensive approach to plant form, structure and ontogeny. **Annals of Botany**, n. 99 p. 375-407, 2007.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira.** Colombo: EMBRAPA-CNPQ; Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 639 p.
- CONSTANTINO, V.; ZANETTE, F. Produção de borbulhas ortotrópicas para enxertia de *Araucaria angustifolia*. **Acta Biol. Par.**, Curitiba, 44 (3-4): p. 49-55, 2015.
- COPES, D. L. Effect of rootstock vigor on leader elongation, branch growth, and plagiotropism in 4 and 8 year old Douglas-fir grafts. **Tree Planters' Notes**, v. 31, n. 1, p. 11-15, 1980.
- COX, M. C. H.; BENSCHOP, J. J.; VREEBURG, R. A. M.; WAGEMAKERS, C. A. M.; MORITZ, T.; PEETERS, A. J. M.; VOESENEK, L. A. C. J. The roles of ethylene, auxin, abscisic acid, and gibberellin in the hyponastic growth of submerged *Rumex palustris* petioles. **Plant Physiol.** v. 136, p. 2948-2960, 2004.
- CLARK, J. R. Age-related changes in trees. **Journal of Arboriculture**, v. 9, n. 8, p. 201-205, 1983.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná. Londrina: **Boletim de Pesquisa**, v. 27, n. 1 e 2, 1984.
- GOLDBERG, R. B. Emerging patterns of plant development. **Cell**. 49, p. 298-300, 1987.
- GURGEL, J. T. A.; GURGEL FILHO, O. A. Métodos de enxertia para o pinheiro brasileiro, *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze, visando-se a formação de pomares de sementes. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, 6, p. 153-155, 1967.
- GUTIÉRREZ, B. **Propagación, respaldo y evaluación de desempeño de material genético selecto de pino oregon: Síntesis de los resultados del proyecto “Propagación de Genotipos de Interés Comercial de Pino Oregón”.** Instituto Forestal, Santiago – Chile, 2006.

HAINES, R. J.; NIKLES, D. G. Seed production in *Araucaria cunninghamii* - the influence of biological features of the species. **Aust. For.** 50, p. 224-230, 1987.

HALLÉ, F.; OLDEMANN, R. A.; TOMLINSON, P. B. **Tropical trees and forests**. Berlin: Springer-Verlag, 1978.

HOUSE, S.; DIETERS, M.; JOHNSON, M.; HAINES, R. Inhibition of orthotropic replacement shoots with auxin treatment on decapitated hoop pine, *Araucaria cunninghamii*, for seed orchard management. **New For.** 16, p. 221-230, 1998.

IRITANI, C. **Aspectos múltiplos da cultura *in vitro* da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** 1997. 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

IRITANI, C.; ZANETTE F.; CISLINSKI, J. Aspectos anatômicos da cultura *in vitro* da *Araucaria angustifolia*. I. Organização e desenvolvimento dos meristemas axilares ortotrópicos de segmentos caulinares. **Acta Biologica Paranaense**, v. 21, n. 1, 2, 3, 4, p. 57-76, 1992.

KAGEYAMA, P. Y.; FERREIRA, M. Propagação vegetativa por enxertia em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, n. 11, p. 95-102, 1975.

KOCH, Z.; CORRÊA, M. C. **Araucária: a floresta do Brasil Meridional**. Curitiba: Olhar Brasileiro, 2002. 148 p.

LAMOTTE, C. E.; PICKARD, B. G. Control of gravitropic orientation. II. Dual receptor model for gravitropism. **Funct. Plant Biol.** v. 31 (2), p. 109-120, 2004.

LEMOS, C. F. de; SILVA, E. T. da. Comparação das características morfológicas, mineralógicas, químicas e físicas do solo entre áreas de cultivo com plantio direto e plantio convencional. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v. 3, n. 1, p. 11-18, 2005.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 352 p.

MATSCHKE, J.; WEISER, F. Vegetative propagation of Douglas fir (*Pseudotsuga mensiesii*). **Beiträge für die Forstwirtschaft** 22 (3), p. 114-121, 1988.

MCSTEEN, P.; LEYSER, O. Shoot branching. **Annu. Rev. Plant Biol.** 56, p. 353-374. 2005.

OLIVEIRA, L. da S. **Enxertia, microenxertia e descrição do tropismo em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** 2010. 90 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

OLIVEIRA, R. P. de; FILHO, W. dos S. S.; PASSOS, O. S.; SCIVITTARO, W. B.; ROCHA, P. S. G. da. Porta-enxertos para citrus. Embrapa Clima temperado, **Documentos 226**, Pelotas-RS, 2008.

REITZ, R., KLEIN, R. M., REIS, A. **Projeto Madeira de Santa Catarina**. Separata 28 de sellowia-herbário Barbosa Rodrigues, Itajaí. 1978.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. *Madeiras do Brasil*. Lunardelli, Florianópolis, 1979. 320p.

SINNOTT, G. W. Reaction wood and the regulation of tree form. **Amer. J. Bot.** 39, p. 69-78, 1952.

SONE, K.; NOGUCHI, K.; TERASHIMA, I. Mechanical and ecophysiological significance of the form of a Young *Acer rufrinerve* tree: vertical gradient in branch mechanical properties. **Tree physiology**. v. 26, p. 1549-1558, 2006.

STARBUCK, C. J.; PROEBSTING, W. M.; ROBERTS, A. N. Responses of excised Douglas-fir shoots to disorientation. **Hort. Sci.** 18, p. 102-104, 1983.

TOLEDO FILHO, L. A. A. **Expressão do gene iaaM *Agrobacterium tumefaciens* no stigma de *Nicotiana tabacum*: efeito de níveis aumentados de auxina no desenvolvimento do pistilo**. 2012. 122 f. Dissertação (Mestrado em Genética Geral) – Departamento de Genética da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

VEIERSKOV, B.; RASMUSSEN, H.; ERIKSEN, B.; HANSEN-MØLLER, J. Plagiotropism and auxin in *Abies nordmanniana*. **Tree Physiology**, v. 27, p. 149-153, 2007.

WAREING, P. F. Problems of juvenility and flowering in trees. **J. Linn. Soc. (Bot.)** 56, p. 282-289, 1959.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F.; HOFFMANN, H. A.; BETTIO, G.; HANSEL, F. Indução de brotações epicórmicas ortotrópicas para a propagação vegetativa de árvores adultas de *Araucaria angustifolia*. **Agronomia Costarricense**, Costa Rica, v. 33, n. 2, p. 309-31, 2009.

WENDLING, I. Enxertia e florescimento precoce em *Araucaria angustifolia*. **Comunicado Técnico 272**, Embrapa Florestas, Colombo, Junho, 2011.

WENDLING, I. Tecnologia de enxertia de *Araucaria angustifolia* para produção precoce de pinhões, com plantas de porte reduzido. **Comunicado Técnico 351**, Colombo, Embrapa Florestas, Maio, 2015.

WILSON, B. F. Apical control of branch growth and angle in woody plants. **American Journal of Botany** 87 (5), p. 601-607, 2000.

ZANETTE, F.; OLIVEIRA, L. da S.; BIASI, L. A. Grafting of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze through the four seasons of the year. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal, v. 33, n. 4. p. 1364-1370, 2011.

5 ENXERTIA DE PROPÁGULOS TRUNCIFORMES NOS RAMOS DE *Araucaria angustifolia* PARA MULTIPLICAÇÃO DE MATRIZES

RESUMO

A enxertia em *Araucaria angustifolia* é uma alternativa em relação à produção de mudas por sementes. No entanto, a disponibilidade natural de propágulos é muito limitada, uma vez que somente material obtido do tronco (ortotrópico) deve ser utilizado. O objetivo deste trabalho foi avaliar a técnica de enxertia sobre ramos da araucária e o tropismo dos enxertos visando a multiplicação de propágulos. A enxertia foi realizada no início de julho de 2014 por meio da técnica de borbulhia de placa em 20 plantas com três anos de idade plantadas em vaso e no solo. Foram utilizadas borbulhas ortotrópicas obtidas de troncos de plantas jovens e enxertadas em 43 ramos localizados nos três últimos verticilos superiores, numa distância de 10 cm do tronco da planta porta-enxerto. Foi avaliada a sobrevivência dos enxertos, a qualidade da cicatrização, o tropismo (ângulo de crescimento), o comprimento e o diâmetro das brotações dos enxertos e o diâmetro dos ramos (porta-enxerto). Os dados foram analisados por meio de estatística descritiva. A taxa de sobrevivência dos enxertos foi de 91%. Apesar de o crescimento ter sido variável, todos os enxertos apresentaram comportamento ortotrópico. Conclui-se que a enxertia nos ramos superiores de plantas de araucária de três anos é viável e a possibilidade de enxertar em vários ramos de uma mesma planta configura uma alternativa para multiplicação de borbulhas ortotrópicas/matrizes. Apesar das diferenças morfológicas e funcionais, a interação entre enxerto de origem ortotrópica e ramos plagiotrópicos (porta-enxertos jovens) não interfere na sobrevivência, na cicatrização e no crescimento inicial, dando origem a brotações de crescimento ortotrópico com características de tronco. Portanto, o tropismo das brotações depende da origem do enxerto.

Palavras-chave: Tropismo. Plagiotrópico. Ortotrópico. Propagação vegetativa.

GRAFTING OF TRUNCIFORMS PROPAGULES IN BRANCHES OF *Araucaria angustifolia* FOR MULTIPLICATION OF PATTERN PLANTS

ABSTRACT

The grafting in *Araucaria angustifolia* is an alternative related to the production of seedlings using seeds. However, the natural availability of propagules is very limited, since only material obtained from the trunk (orthotropic) could be used. The aim of this study was to evaluate the grafting technique on branches of araucaria and the grafts tropism in order to have the propagules multiplication. The grafting was held in the beginning of July 2014 using the patch grafting technique in 20 plants of araucaria which are three years old. It was used orthotropic buds obtained from trunks and grafted in 43 branches located in the last three upper whorls, within a distance of 10 cm from the rootstock plant trunk. It was evaluated the grafts survival, the healing quality, the tropism (growth angle), the height and diameter of the grafts shoots, as well as the diameter of rootstock branches and its relation to the diameter of the graft. Data were analyzed by descriptive statistical. The survival rate of the grafts was 91%. Although the growth was variable, all grafts presented orthotropic behavior. It is concluded that the grafting in the upper branches of three-year-old araucaria seedlings is feasible and the possibility of grafting in several branches of the same plant constitutes an alternative for the multiplication of orthotropic patches/pattern plants. Despite the morphological and functional differences, the interaction among grafts with orthotropic origin and plagiotropic branches (young rootstock) does not interfere with survival, healing and initial growth giving rise to orthotropic growth shoots with trunk characteristics. Therefore, the tropism of sprouts depends on the origin of the graft.

Key-words: Tropism. Plagiotropic. Orthotropic. Vegetative propagation.

5.1 INTRODUÇÃO

A Floresta Ombrófila Mista, também denominada de Floresta com Araucária, integrante do Bioma Mata Atlântica (BRASIL, 2006), cobria áreas extensas, principalmente na Região Sul do Brasil (HUECK, 1972). Estima-se que entre 1930 e 1980 tenham sido derrubadas cerca de 100 milhões de araucárias (BRASIL, 2010). De acordo com Mähler Jr. e Larocca (2009), restava menos de 3% da área original, resultado de intenso desmatamento para cultivo agrícola e exploração econômica da madeira de araucária. No estado do Paraná, as florestas com araucárias primárias ou intocadas praticamente não existiam mais segundo Castela e Brites (2004), restando apenas 0,3% de florestas secundárias avançadas ou primárias alteradas. Atualmente esse número pode ser ainda menor, pois a exploração clandestina ainda persiste, apesar de a legislação brasileira impedir o corte de araucárias nativas desde 2001 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2001) e da espécie estar ameaçada de extinção (BRASIL, 2014). A resolução que proíbe o corte da araucária não tem conseguido impedir o corte “silencioso” e a morte dos indivíduos mais velhos. A proibição do uso da madeira acarreta desvalorização econômica da espécie, e a consequente perda de interesse na conservação, estimulando proprietários rurais a impedir a regeneração natural da araucária. É preciso que sejam criadas alternativas que estimulem o produtor rural a manter as araucárias em sua propriedade. Segundo o que se observa na literatura, a definição de um protocolo de produção de mudas que permita antecipar a frutificação da araucária e ao mesmo tempo elevar a produtividade, pode contribuir para diminuir a exploração sobre as araucárias remanescentes (ZANETTE, 2010).

Normalmente a araucária é propagada por sementes, cuja disponibilidade, geralmente só inicia quando as árvores atingem idades entre 12 e 15 anos (ZANETTE; OLIVEIRA; BIASI, 2011). A baixa longevidade das sementes e a dificuldade no controle sobre algumas características de interesse como, por exemplo, definição do sexo, porte da planta e capacidade produtiva, torna este método limitado. Por outro lado, a propagação vegetativa tem se mostrado promissora quando o objetivo é produzir pinhão. O método preferível é a enxertia, principalmente porque pode antecipar a frutificação, reduzir o porte da planta e aumentar a produtividade quando são usados explantes de matrizes superiores (ZANETTE, 2010).

Embora até hoje tenham sido publicados poucos estudos sobre a enxertia em araucária (GURGEL; GURGEL-FILHO, 1967; KAGEYAMA; FERREIRA, 1975;

ANSELMINI; ZANETTE, 2008), os trabalhos mais recentes (ZANETTE; OLIVEIRA; BIASI, 2011; WENDLING, 2015), têm demonstrado o potencial da enxertia para auxiliar na conservação da espécie, na produção de pinhões e madeira.

De acordo com Mudge et al. (2009), a enxertia envolve a criação de um sistema genético composto por duas ou mais unidades genotípicas distintas, cada qual mantendo suas próprias identidades genéticas durante o desenvolvimento da planta enxertada. No caso da araucária, pode ser realizada pelas técnicas de garfagem em fenda cheia no topo do porta-enxerto ou borbulhia de placa (WENDLING, 2011) e por placagem lenhosa (ZANETTE; OLIVEIRA; BIASI, 2011).

Apesar da possibilidade de enxertar araucária, a técnica ainda é pouco usada porque depende do propágulo. De acordo com Hibbert-Frey et al. (2011) a origem do propágulo na copa pode afetar o sucesso da enxertia. Nesse sentido, tipo, juvenilidade e vigor são algumas das características determinantes.

Existe limitação para aplicação da enxertia de forma intensiva devido, principalmente, ao plagiotropismo característico da espécie (IRITANI, 1997) e a escassez de propágulos ortotrópicos (WENDLING, 2015), ou seja, aqueles obtidos do tronco.

Quando enxertados propágulos de origem plagiotrópica os brotos assumem um crescimento desviado da vertical e continuam seu crescimento de forma similar a um ramo lateral (ZOBEL; TALBERT, 1984). Apenas propágulos de origem ortotrópica desenvolvem copa com crescimento vertical, portanto são os indicados para propagação vegetativa da araucária, visando multiplicação de árvores superiores (WENDLING et al., 2009; ZANETTE; OLIVIRA; BIASI, 2011). Portanto, é imprescindível a definição de metodologias para aumentar a quantidade de brotações ortotrópicas trunciformes (com morfologia de tronco) para viabilizar a produção em larga escala de mudas de *Araucaria angustifolia* por enxertia.

A possibilidade de realizar a enxertia nos ramos plagiotrópicos da araucária visando a multiplicação de material selecionado poderá constituir um estímulo para a criação de áreas exclusivas para produção e fornecimento de propágulos, o que viabilizaria a produção em larga escala de mudas e, conseqüentemente, o maior alcance ecológico e econômico, contribuindo para reverter a atual fragmentação em que se encontram as matas com araucárias.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a sobrevivência, a cicatrização, o crescimento, o tropismo e o potencial de multiplicação de borbulhas/matrizes selecionadas em enxertos de ramos ortotrópicos realizados sobre ramos primários plagiotrópicos de araucária.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em julho de 2014 em viveiro do Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo da Universidade Federal do Paraná (latitude -25,412; longitude -49,24; altitude 911 m). Para a realização da enxertia, foram utilizadas como porta-enxertos, 20 plantas de araucária com idade de três anos e altura variando entre dois e três metros, propagadas por sementes e mantidas em vaso e no solo. Estas plantas foram selecionadas com base nos seus ramos pouco lignificados e de diâmetro compatível com os propágulos (borbulhas). Foram selecionados 43 ramos, sendo 14 do primeiro verticilo, 24 do segundo verticilo e 5 do terceiro verticilo. Na mesma planta foram enxertados mais de um verticilo.

Foram obtidas placas (enxerto) de tronco de plantas produzidas por sementes, com aproximadamente dois anos de idade e altura de 80 cm, mantidas em vasos. Cada placa com tamanho de dois centímetros de comprimento e 0,8 cm de largura continha pelo menos três acículas com suas regiões axilares intactas (nesta região estão contidos polos meristemáticos capazes de regenerar uma nova copa, portanto, é neste local que iniciará a brotação do enxerto). As placas foram enxertadas sobre os ramos, na distância de 10 cm do tronco das plantas porta-enxerto, utilizando a técnica de enxertia por borbulhia de placa (ZANETTE; OLIVEIRA; BIASI, 2011). Esta técnica consiste na utilização de placas (enxertos) retangulares de tamanhos variáveis em função do diâmetro do porta-enxerto. A espessura ideal da placa foi obtida aplainando até que houvesse uma fina camada de lenho. Nos ramos porta-enxertos foram retiradas placas de mesmas dimensões para colocação da placa/enxerto. Os enxertos foram fixados com arame flexível e depois envoltos com fita plástica para criação de uma câmara úmida para evitar sua desidratação. Decorridos vinte e um dias após a realização da enxertia foram retiradas as fitas plásticas. Quatorze dias depois, os ramos contendo enxertos sobreviventes (coloração verde) foram podados logo depois/acima dos enxertos. Os arames foram retirados logo que iniciou o inchaço e amarelecimento nas axilas das acículas do enxerto.

A sobrevivência dos enxertos foi avaliada aos 70 dias após a enxertia. A cicatrização foi avaliada no final do experimento sendo considerada “cicatrização ótima” onde havia perfeita união entre enxerto e porta-enxerto, “cicatrização intermediária” onde a união do enxerto e porta-enxerto apresentava tecidos ressecados e “cicatrização fraca” onde a borda do enxerto estava desalinhada com o porta-enxerto e ressecada (FIGURA 1).



FIGURA 1 - PADRÃO PARA CLASSIFICAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO DOS ENXERTOS:
CICATRIZAÇÃO ÓTIMA (A); CICATRIZAÇÃO INTERMEDIÁRIA (B); CICATRIZAÇÃO FRACA (C).
FONTE: O autor (2014).

O tropismo das brotações foi avaliado 180 dias após a enxertia. Com auxílio de um transferidor foi obtido o ângulo formado entre a linha de projeção do tronco da planta porta-enxerto e a linha de inclinação da brotação, conforme Fazio e Robinson (2008) em trabalho com maçã. Além do ângulo, também foi considerada a organização dos verticilos para caracterização do tropismo. Brotações com crescimento até 10 graus em relação ao tronco da planta porta-enxerto foram consideradas ortotrópicas. Brotações com ângulos maiores que 10 graus que apresentaram ramificação em verticilo bem definido (ramos inseridos no mesmo nó) também foram classificadas como ortotrópicas.

Medidas de comprimento das brotações, diâmetro na base e no terço médio das brotações e diâmetro dos ramos porta-enxertos, abaixo do local enxertado, foram obtidas com auxílio de régua graduada e paquímetro. O comprimento foi expresso em cm e o diâmetro em mm.

Os dados foram analisados por meio de estatística descritiva. Foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis “distância dos verticilos até o ápice” e “ângulo das brotações”; “distância dos verticilos” e “comprimento das brotações”.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos 43 enxertos realizados apenas quatro não desenvolveram brotação e secaram, resultando numa taxa de sobrevivência de 91% (TABELA 1).

TABELA 1 - CRESCIMENTO E QUALIDADE DA CICARIZAÇÃO NA ENXERTIA DE RAMOS PLAGIOTRÓPICOS DE *A. angustifolia* A PARTIR DE PROPÁGULOS DE TRONCO, 180 DIAS APÓS A ENXERTIA.

	DV	CT	AC	DB	DA	DP	ICB	ICA	QC		
									O	I	F
1º verticilo (14 ramos enxertados – 85,7% de sobrevivência)											
\bar{X}	15,9	9,6	1,1	6,2	8,0	6,3	1,0	1,3	0,0	91,7	8,3
Mínimo	08,0	1,8	0,0	4,7	5,0	5,2	0,7	0,8			
Máximo	23,5	20,0	5,0	7,9	10,6	9,4	1,5	1,5			
Desvio p.	5,9	5,5	1,6	0,8	1,5	1,2	0,2	0,2			
2º verticilo (24 ramos enxertados – 95,8% de sobrevivência)											
\bar{X}	46,6	6,1	7,0	4,9	6,2	6,3	0,8	1,0	0,0	95,7	4,3
Mínimo	17,0	1,1	0,0	4,2	4,5	5,3	0,6	0,2			
Máximo	110,0	12,5	25,0	5,9	8,8	7,7	1,0	0,6			
Desvio p.	33,4	3,2	8,0	0,5	1,1	0,8	0,1	0,2			
3º verticilo (5 ramos enxertados – 80% de sobrevivência)											
\bar{X}	106,0	1,4	8,0	n.a	n.a	5,4	n.a	n.a	0,0	75,0	25,0
Mínimo	94,0	1,2	0,0	n.a	n.a	5,1	n.a	n.a			
Máximo	118,0	1,7	15,0	n.a	n.a	5,9	n.a	n.a			
Desvio p.	17,0	0,2	8,1	n.a	n.a	0,3	n.a	n.a			
Média geral		6,7	5,3	5,4	6,9	6,2	0,8	1,1	0,0	87,5	12,5

Em que: DV = distância do verticilo até o ápice da copa (cm); CT = comprimento do enxerto (cm); AC = ângulo de crescimento do enxerto (graus); DB = diâmetro da base do enxerto (mm); DA = diâmetro no terço superior do enxerto (mm); DP = diâmetro do ramo porta-enxerto (mm); ICB = diâmetro da base do enxerto/diâmetro do ramo porta-enxerto; ICA = diâmetro no terço superior do enxerto/diâmetro do ramo porta-enxerto; QC = qualidade da cicatrização (%); O = qualidade ótima; I = qualidade intermediária; F = qualidade fraca; n.a = não avaliado; \bar{X} = média; Desvio p. = desvio padrão.

Embora o experimento tenha sido instalado no início do inverno, propágulos obtidos de tronco e enxertados nos ramos primários da araucária apresentaram taxa de sobrevivência equivalente à enxertia no tronco principal, que é a técnica recomendada por Zanette, Oliveira e Biasi (2011) e Wendling (2015). O segundo autor relatou taxa de sobrevivência entre 80 e 90% para enxertia tradicional no tronco principal em experimento realizado entre primavera e verão.

O sucesso da sobrevivência e do crescimento do enxerto depende de vários fatores como: época do ano; fase de crescimento e idade da planta matriz e da planta porta-enxerto; ciclo de vida dos tecidos envolvidos; tipo de enxerto; local de cultivo; afinidade anatômica quanto ao tamanho e forma das células, consistência dos tecidos, exigência nutricional; porte e vigor da copa da planta porta-enxerto; produção de compostos metabólicos secundários,

como resina ou substâncias fenólicas que dificultam a formação de calos e condição fitossanitária da planta matriz e do porta-enxerto (FACHINELLO et al., 1995; HARTMANN et al., 2002, XAVIER; WENDLING; SILVA, 2009). Outro fator determinante para o sucesso da enxertia pode ter sido a técnica utilizada, a placagem lenhosa. Esta técnica contorna o problema da diferença de diâmetro entre enxerto e porta-enxerto, principalmente quando enxertado material de origem ortotrópica em ramos porta-enxerto que, por natureza, pode apresentar diâmetro menor. Neste caso é possível obter placas de tamanho compatível com o ramo porta-enxerto.

De acordo com Peil (2003), quanto maior a afinidade botânica, maior a probabilidade de sobrevivência do enxerto. A afinidade compreende aspectos morfológicos e fisiológicos. Nesse sentido é possível concluir que a diferença anatômica, morfológica e funcional existente entre os propágulos de tronco e o ramo porta-enxerto não interferiu na união dos tecidos cambiais da araucária, que é condição fundamental para o êxito da enxertia (CARVALHO, 2002).

De acordo com os resultados deste trabalho, a baixa taxa de mortalidade dos enxertos e a distribuição proporcional nos três verticilos avaliados, sugerem que a posição da enxertia ao longo do tronco não teve influencia na mortalidade dos enxertos.

Com relação a cicatrização, foi observado que na maioria dos casos, apesar da união entre enxerto e ramo porta-enxerto, houve presença de tecidos ressecados no local da enxertia, principalmente nas regiões de corte, configurando cicatrização de qualidade intermediária, aos 180 dias após a enxertia (FIGURA 1B).

A qualidade da cicatrização na enxertia em ramos de araucária a partir de propágulos de tronco de plantas jovens não é muito diferente em relação àquela da enxertia comumente realizada no tronco, apesar das diferenças morfológicas e funcionais existentes entre o material do tronco e do ramo. A presença de tecidos ressecados na região de contato entre enxerto e porta-enxerto pode ter sido resultado da oxidação, devido a necessidade de aparar a placa de enxerto; da posição de enxertia, que dificulta o manuseio e a fixação da placa; da espessura e lignificação dos tecidos do ramo porta-enxerto, na região da enxertia, que dificulta a transferência de conteúdo entre as células de ambos os tecidos. Trabalhos futuros aplicando a enxertia em local mais próximo do ápice dos ramos podem ajudar a esclarecer a questão da cicatrização, pois nesta região, geralmente os tecidos são mais jovens, menos lignificados e mais grossos.

Apesar da maioria dos enxertos terem apresentado áreas ressecadas na região de enxertia, foi possível constatar que não houve comprometimento dos polos meristemáticos presentes internamente na parte superior das acículas na placa de enxerto, a ponto de impedir a sobrevivência e o desenvolvimento inicial da brotação. Com relação a isso, Cañizares, Santos e Goto (2003) afirmam ser necessária apenas uma área mínima de contato na região do câmbio, entre enxerto e porta-enxerto para que seja possível a formação de novo xilema e floema. De acordo com Goldschmidt (2014), sinais hormonais, em particular auxinas desempenham um papel importante na cicatrização e regeneração vascular. Nesse sentido, o amarelecimento e a constatação de sinais de inchaço na região da enxertia, antes da brotação do enxerto, indicam uma provável atividade hormonal capaz de criar condições para a cicatrização dos tecidos envolvidos e crescimento dos enxertos.

Os resultados de sobrevivência e cicatrização até 180 dias após a enxertia, período de acompanhamento deste trabalho, são indicativos da viabilidade técnica de enxertar material obtido do tronco em ramos da araucária. No entanto, ressalta-se que esta técnica não é definitiva e serve apenas como alternativa para multiplicação de propágulos ortotrópicos de matrizes selecionadas.

O ângulo de crescimento das brotações dos enxertos variou entre zero e 25°, com média geral de 5,3°, a partir da projeção vertical obtida pelo paralelismo com o tronco da planta porta-enxerto. A média por verticilo foi de 1,1°; 7° e 8° para os enxertos do primeiro, segundo e terceiro verticilo, respectivamente (Tabela 1 – AC).

Apesar de encontrada uma variação significativa nos ângulos de crescimento das brotações, todas apresentaram características de crescimento ortotrópico, com crescimento vertical e/ou formação de verticilos bem definidos (FIGURA 2 B, C, F, G, H, K, L).

Na Figura 2 B é possível notar o paralelismo das brotações em relação ao tronco da planta porta-enxerto e também o vigor de crescimento. Provavelmente seja resultado da interação dos ramos enxertados que estão próximos do ápice da planta, portanto são mais novos, e do grau de juvenilidade dos propágulos obtidos de plantas jovens produzidas a partir de sementes. O mesmo paralelismo é encontrado na Figura 2 C, neste caso as brotações já apresentam ramificação bem definida, refletindo as características ortotrópicas do material de origem dos enxertos.

A pequena variação no ângulo de crescimento, mais comum na FIGURA 2 F e I pode ser resultado do processo de enxertia, uma vez que os enxertos foram posicionados na lateral e na parte mais inferior do ramo. Como o geotropismo da araucária é negativo, o

crescimento inicial tende a ser inclinado. Outra hipótese está relacionada ao vigor do ramo enxertado e dominância apical, uma vez que existe gradiente de auxina da parte aérea até a raiz que afeta vários processos do desenvolvimento da planta (TAIZ; ZEIGER, 2004), inclusive inibição de crescimento como pode ser visto em enxertos localizados em ramos do terceiro verticilo da araucária (FIGURA 2 F).



FIGURA 2 - ENXERTOS DE BORBULHAS DE TRONCO EM RAMOS PLAGIOTRÓPICOS DE *Araucaria angustifolia*: A) RAMO DO PRIMEIRO VERTICILLO SUPERIOR RECÉM-ENXERTADO; B) BROTAÇÃO COM CRESCIMENTO ORTOTRÓPICO; C) BROTAÇÃO COM CRESCIMENTO VERTICAL APRESENTANDO RAMIFICAÇÃO EM VERTICILLOS; D) RAMOS DO SEGUNDO VERTICILLO SUPERIOR RECÉM-ENXERTADOS; E) CRESCIMENTO DE ENXERTOS EM RAMOS DO SEGUNDO VERTICILLO; F) CRESCIMENTO DE ENXERTOS EM RAMOS DO TERCEIRO VERTICILLO APRESENTANDO LEVE INCLINAÇÃO; G) ENXERTOS EM RAMOS DO TERCEIRO VERTICILLO COM SINAIS DE INIBIÇÃO DE CRESCIMENTO; H e I) BROTAÇÕES COM GEOTROPISMO NEGATIVO EM ENXERTOS POSICIONADOS NA PARTE INFERIOR DOS RAMOS; J) CRESCIMENTO ORTOTRÓPICO DA BROTAÇÃO DE ENXERTO COM PROPÁGULO DE TRONCO E CRESCIMENTO PLAGIOTRÓPICO DA BROTAÇÃO DO RAMO PODADO; K e L) BROTAÇÕES DE ENXERTOS COM PROPÁGULOS DE TRONCO SOBRE RAMOS PLAGIOTRÓPICOS DE ARAUCÁRIA APTAS PARA FORNECIMENTO DE BORBULHAS VIÁVEIS.
FONTE: O autor (2014).

A correlação ($r^2 = 0,44 *$) (ANEXO 3 – pág. 131) entre a distância do verticilo enxertado e o ângulo da brotação indica que, quanto mais distante o enxerto estiver do ápice

da planta, mais inclinada é a brotação. Além da dominância apical, é possível que o sombreamento proporcionado pelos ramos dos verticilos superiores induza a brotação a procurar por luz e, conseqüentemente, inclinar-se. Essa inclinação, no entanto, não significa que o crescimento seja plagiotrópico, mas apenas resultado de um desvio temporário em busca de luz.

A gema terminal e as gemas dormentes (polos meristemáticos) ao longo do tronco principal das Araucariáceas são os únicos meristemas normalmente capazes de produzir brotações que se desenvolvem ortotropicamente (NIKLES, 1964). De acordo com os resultados deste trabalho o desenvolvimento ortotrópico destes meristemas independe do local onde são enxertados. As características de crescimento ortotrópico das borbulhas/placas enxertadas se mantiveram independentemente da característica de crescimento dos ramos porta-enxerto, que é plagiotrópica. Portanto, não foi verificada interferência trópica do ramo. Significa que a enxertia envolveu a criação de um sistema genético composto por duas unidades genótípicas distintas, cada qual mantendo suas próprias identidades genéticas (MUDGE et al., 2009). Tendo em vista a escassez de propágulos de origem ortotrópica em araucárias, a retenção das características de crescimento destes propágulos, independentemente de onde são enxertados (no tronco ou nos ramos) pode ser explorada como uma estratégia para multiplicação de genótipos selecionados.

Nas condições deste experimento com a avaliação no inverno para região de Curitiba, foram encontradas aos 180 dias após a enxertia brotações com até 20 cm de comprimento e 10,6 mm de diâmetro (Tabela 1 – primeiro verticilo).

O comprimento das brotações dos enxertos variou de 1,1 a 20,0 cm, com média geral de 6,7 cm (TABELA 1 CT).

Na FIGURA 2 B, C, K, L são apresentados alguns enxertos, cujas brotações aos 180 dias após a enxertia já estavam aptas para fornecimento de borbulhas viáveis para enxertia da araucária, por placagem lenhosa.

A média de crescimento em diâmetro no terço superior da brotação foi maior do que na base das brotações, sugerindo que neste local o ritmo de crescimento foi menor, provavelmente influenciado pela interação anatômica e morfológica do ramo porta-enxerto (TABELA 1DB e DA).

Os enxertos do primeiro verticilo superior apresentaram maior comprimento, diâmetro e relação entre o diâmetro da brotação e diâmetro do ramo porta-enxerto, aos 180 dias após a enxertia (TABELA 1). A diferença no crescimento pode ser observada

comparando-se a FIGURA 2 L, cuja enxertia foi realizada em ramos do primeiro verticilo, com a FIGURA 3, com enxertos nos ramos do terceiro verticilo.



FIGURA 3 – CRESCIMENTO INIBIDO RESULTADO DA ENXERTIA NO TERCEIRO VERTICILO.
FONTE: O autor (2014).

A enxertia na araucária como em qualquer espécie não depende só da sobrevivência do material enxertado, mas, também do desenvolvimento da brotação do enxerto. No caso deste experimento, a expectativa de superioridade em comprimento e diâmetro dos enxertos do primeiro verticilo (TABELA 1) foi confirmada. Provavelmente o resultado tenha ocorrido em função de uma resposta hormonal mais pronunciada neste local, já que está localizado mais próximo do ápice da planta (TAIZ; ZEIGER, 2004).

O coeficiente de correlação de Pearson negativo ($r^2 = -0,52 *$) (ANEXO 3 – pág. 131) calculado entre a posição do verticilo enxertado e o comprimento do enxerto indica que existe gradiente decrescente no comprimento da brotação na medida em que os enxertos estão localizados mais distantes do ápice. Essa redução do crescimento pode estar relacionada com o gradiente decrescente de auxina do ápice para a base. A redução nos níveis de auxina pode afetar a divisão, expansão e diferenciação celular (BERLETH; SACHS, 2001) e o alongamento do caule (FRIML et al., 2003; TAIZ; ZEIGER, 2004).

Apesar do comprimento e diâmetro ter sido maior nos enxertos realizados no primeiro verticilo, as brotações de enxertos do segundo verticilo também se apresentaram viáveis para fornecimento de material genético, após 180 dias da enxertia.

O crescimento em diâmetro da brotação do enxerto quando comparado ao diâmetro do ramo porta-enxerto (TABELA 1), mostra que aos 180 dias depois da enxertia, praticamente já há uma equivalência em diâmetro, principalmente nos enxertos em ramos do primeiro verticilo. Essa capacidade de crescimento pode ser explorada para multiplicação de propágulos e indica o potencial desta técnica de enxertia a ser usada em jardins clonais. No entanto, é importante ressaltar que os ramos apresentam crescimento em diâmetro determinado e no tronco o crescimento é indeterminado, podendo ocorrer incompatibilidade tardia. Nesse sentido, o período indicado é de 180 dias, período utilizado para avaliação deste experimento. É importante que sejam realizados novos experimentos deste tipo, principalmente com propágulos de plantas adultas e que os mesmos sejam mantidos por período mais extenso, de modo a estabelecer prazo de manutenção dos enxertos, sem que haja prejuízo devido à dominância apical. Uma alternativa nesse caso seria realizar o corte do ápice do porta-enxerto. Testes preliminares indicaram bons resultados empregando essa prática.

5.4 CONCLUSÃO

A enxertia de ramos ortotrópicos sobre ramos plagiotrópicos superiores de plantas de araucária de três anos é viável e a possibilidade de enxertar em vários ramos de uma mesma planta configura uma alternativa para multiplicação de borbulhas ortotrópicas/matrizes. Apesar das diferenças morfológicas e funcionais, a interação entre enxerto de origem ortotrópica e ramos porta-enxertos plagiotrópicos de plantas jovens não interfere no pegamento, na cicatrização e no crescimento inicial, dando origem a brotações de crescimento ortotrópico com característica de tronco. Portanto, o tropismo das brotações depende da origem do enxerto.

REFERÊNCIAS

- ANSELMINI, J. I.; ZANETTE, F. Microenxertia e sua caracterização morfológica em *Araucaria angustifolia*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 967-973, 2008.
- BERLETH, T.; SACHS, T. The morphogenesis: long distance coordination and local patterning. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 4, p. 57-62, 2001.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano de manejo: Parque Nacional das Araucárias**. Brasília, DF, jun. 2010.
- BRASIL. **Lei Nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11428.htm>. Acesso em: 01 abr. 2016. Publicado originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil em 26 de dezembro de 2006, retificado em 9 de janeiro de 2007.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Portaria n. 443 de 17 de dezembro de 2014. Lista nacional oficial de espécies da flora ameaçadas de extinção. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, n. 245, seção 1, p. 111, 18 de dezembro, 2014.
- CASTELLA, P. R.; BRITEZ, R. M. A. (Orgs.). **Floresta com Araucária no Paraná: conservação e diagnóstico dos remanescentes florestais**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. 233 p.
- CAÑIZARES, K. A. L.; SANTOS, H. S.; GOTO, R. **Enxertia em Hortaliças**, São Paulo-SP, 2003. p. 11, 21-23, 25-27.
- CARVALHO, R. I. N. Fisiologia de produção de espécies frutíferas. In: WACHOWICZ, C. M.; CARVALHO, R. I. N. **Fisiologia vegetal: produção e pós-colheita**. Curitiba: Champagnat, 2002. p. 135-182.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA Nº 278/2001**. Dispõe contra corte e exploração de espécies ameaçadas de extinção da flora da Mata Atlântica. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n. 138, p. 51-52, 18 jul. 2001.
- FACHINELLO, J. C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J. C.; KERSTEN, E.; FORTES, G. R. de L. **Propagação de plantas frutíferas de clima temperado**. 2. ed. Pelotas: UFPEL, 1995. 178 p.
- FAZIO, G.; ROBINSON, T. Modification of nursery tree architecture with apple rootstocks: a breeding perspective. **New York Fruit Quarterly**, Geneva-NY, v. 16, n. 1, p. 13-16, 2008.
- FRIML, J.; VIETEN, A.; SAUER, M.; WEIJERS, D.; SCHWARZ, H.; HAMANN, T.; OFFRINGA, R.; JURGENS, G. Efflux-dependent auxin gradients establish the apical-basal axis of *Arabidopsis*. **Nature**, London, v. 426, p. 147-153, 2003.

GOLDSCHMIDT, E. E. Plant grafting: new mechanisms, evolutionary implications. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, article 727, Dez. 2014.

GURGEL, J. T. A.; GURGEL FILHO, O. A. Métodos de enxertia para o pinheiro brasileiro, *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., visando-se a formação de pomares de sementes. Nota Prévia: **Silvicultura em São Paulo**, v. 6, p. 153-155, 1967.

HACKETT, W. P. Donor plant maturation and adventitious root formation. In: DAVIES, T. D.; HAISSIG, B. E.; SANKHLA, N. (Ed.). **Adventitious root formation in cuttings**. Portland: Dioscorides, 1987. p. 11-28. (Advances in Plant Sciences Series, 2).

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIS, F. T.; GENEVE, R. L. **Hartmann and Kester's plant propagation: principles and practices**. 7 ed. New Jersey. Prentice Hall, 2002. 880 p.

HIBBERT-FREY, H.; FRAMPTON, J.; BLAZICH, F. A.; HUNDLEY, D.; HINESLEY, L. E. Grafting Fraser Fir (*Abies fraseri*): effect of scion origin (crown position and branch order). **HortScience** v. 46(1), p. 91-94. 2011.

HUECK, K. **As Florestas da América do Sul**. São Paulo. Editora Polígono, p. 206-239, 1972.

IRITANI, C. **Aspectos múltiplos da cultura *in vitro* da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** 1997. 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

KAGEYAMA, P. Y.; FERREIRA, M. Propagação vegetativa por enxertia em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, n. 11, p. 95-102, 1975.

MÄHLER JR., J. K. F.; LAROCCA, J. F. 2009. Fitofisionomias, desmatamento e fragmentação da Floresta com Araucária. p. 243-252. In: FONSECA, C. R. et al. (Eds.) **Floresta com Araucária. Ecologia, conservação e desenvolvimento sustentável**. Ribeirão Preto: Editora Holos.

MUDGE, K.; JANICK, J.; SCOFIELD, S.; GOLDSCHMIDT, E. E. A history of grafting. **Hortic. Rev.** Vol. 35, cap. 9, p. 437-493, 2009.

NIKLES, D. G. *Araucaria cunninghamii* "bark-patch" grafting in the field. **Australian Forest Research** 1(1), p. 45-47, 1964.

PEIL, R. M. A enxertia na produção de mudas de hortaliças. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 6, p. 1169-1177, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed., Porto Alegre: Editora Artmed, 2004. 719 p.

WENDLING, I. et al. Indução de brotações epicórmicas ortotrópicas para a propagação vegetativa de árvores adultas de *Araucaria angustifolia*. **Agronomía Costarricense**, Costa Rica, v. 33, n. 2, p. 309-31, 2009.

WENDLING, I. Enxertia e florescimento precoce em *Araucaria angustifolia*. **Comunicado Técnico 272**, Colombo, Embrapa Florestas, Junho, 2011.

WENDLING, I. Tecnologia de enxertia de *Araucaria angustifolia* para produção precoce de pinhões, com plantas de porte reduzido. **Comunicado Técnico 351**, Colombo, Embrapa Florestas, Maio, 2015.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. Viçosa, MG: ed. UFV. 2009, 272 p.

ZANETTE, F. **A araucária como fruteira para a produção de pinhões**. Jaboticabal: Funep, 2010. 25 p. (Série Frutas Nativas).

ZANETTE, F.; OLIVEIRA, L. da S.; BIASI, L. A. Grafting of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze through the four seasons of the year. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal, v. 33, n. 4. p. 1364-1370, 2011.

ZOBEL, B., TALBERT, J. **Applied forest tree improvement**. New York, North Carolina State University, 1984, 505 p.

6 CONCLUSÕES GERAIS

1. O fornecimento de N e P promoveu resposta linear no teor foliar para estes elementos, refletindo melhoria na qualidade de mudas de araucária, resultante da mudança de crescimento. Apesar do fornecimento de K promover numa resposta quadrática no teor foliar, não foi verificado resposta no crescimento de mudas de araucária, indicando que esta espécie é pouco exigente em relação a este elemento, utiliza-o para consumo de luxo em relação aos parâmetros de crescimento.
2. O fornecimento de N estimula crescimento da parte aérea e raízes em intensidade similares, não interferindo assim, na relação raiz e parte aérea. No entanto, o fornecimento de P promove resposta decrescente nesta relação.
3. A araucária responde ao fornecimento de N, P e K na seguinte ordem decrescente: $P > N > K$.
4. Os sintomas de deficiência de N em mudas de araucária de 27 meses de idade mantidas em vaso são a clorose acentuada e a inibição da produção de massa total. Por sua vez a deficiência de P causa redução de crescimento, coloração parda das acículas, ramos secundários escassos e pequeno desenvolvimento da gema terminal, culminando com segmentos de entrenó mais curto. Já a deficiência em K é pouco diferente da condição onde o elemento é disponibilizado.
5. A disponibilidade de P e K no solo afeta a acumulação de elementos em acículas de araucária, sendo que o tipo de tecido e a formação de cristais foram chaves para a dinâmica de nutrientes.
6. A cicatrização na enxertia de propágulos plagiotrópicos em porta-enxertos ortotrópicos não interfere na sobrevivência e brotação do enxerto, apesar das diferenças morfológicas e funcionais. Além disso, não há distinção no comportamento de crescimento do enxerto quando utilizada a técnica de garfagem ou borbulhia de placa.
7. A morfologia de copa da araucária originada da enxertia com propágulos plagiotrópicos é semelhante a de um ramo primário. A mudança do tropismo não é suficiente para regenerar uma araucária com morfologia e função semelhante àquela oriunda de sementes ou propágulos ortotrópicos, o que limita o uso de ramos plagiotrópicos na propagação da araucária.
8. A enxertia nos ramos superiores de mudas de araucária de três anos é viável e a possibilidade de enxertar em vários ramos de uma mesma planta configura uma alternativa para multiplicação de borbulhas ortotrópicas. Apesar das diferenças

morfológicas e funcionais, a interação entre enxerto de origem ortotrópica e ramos porta-enxertos plagiotrópicos de plantas jovens não interfere na sobrevivência, na cicatrização e no crescimento inicial, dando origem a brotações de crescimento ortotrópico com característica de tronco. Portanto, o tropismo das brotações depende da origem do enxerto.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ainda existem muitas dúvidas a respeito da biologia da *A. angustifolia*. Isto tem dado margem para ações equivocadas a respeito da sua conservação. O foco fortemente conservacionista como é hoje deve ser compartilhado com boas propostas de manejo. Nesse sentido, é indispensável que as discussões avancem para que as políticas públicas alcancem o duplo objetivo de preservar e estimular o plantio ao mesmo tempo.

A criação de opções para obtenção de produtos não madeiráveis pode contribuir para a manutenção da araucária em pé. As pesquisas têm avançado no sentido de oferecer genótipos selecionados para produção de pinhões e madeira, mas ainda esbarram em alguns problemas relativos à espécie. A seleção e multiplicação de matrizes selecionadas devem ser intensificadas, ao mesmo tempo, devem ser buscados novos protocolos para produção de mudas, cada vez mais eficientes. Utilizar porta-enxertos mais novos, reduzir o tamanho dos propágulos, melhorar os métodos de resgate vegetativo e multiplicação de genótipos selecionados, são os desafios que devemos enfrentar para poder produzir mudas em larga escala e assim atender aqueles que veem na araucária uma opção econômica.

O porta-enxerto interfere diretamente no sucesso da enxertia e no desenvolvimento da planta, portanto produzir porta-enxertos de qualidade é uma questão fundamental. O primeiro capítulo desta tese abordou a nutrição de mudas de araucária em vasos. Os resultados mostraram que a espécie é exigente e responde bem a adubação com N e P, mas o K não promoveu uma resposta satisfatória em termos de crescimento, apesar de verificado o aumento do teor foliar. Partindo da hipótese de um possível consumo de luxo, outros trabalhos devem ser realizados para complementar os resultados deste capítulo e melhorar o entendimento em relação à dinâmica deste elemento nas acículas e desta forma esclarecer qual é o principal papel deste nutriente na araucária e em qual situação ele é usado na promoção de crescimento. Estas informações são importantes para quem quer plantar araucária. Plantios antigos foram fadados ao fracasso por não respeitarem as exigências da espécie. Outros experimentos de adubação devem ser conduzidos a campo voltados, principalmente para promoção de crescimento rápido das plantas e aumento na produtividade de pinhões e plantio consorciado com outras espécies de rápido crescimento e de interesse comercial. Estes requisitos são estratégicos para estimular o plantio da araucária. Pesquisar e divulgar recomendações de adubação para a araucária de acordo com as diferentes tipologias de solos onde a espécie

ocorria originalmente é um desafio, tendo em vista que apenas uma pequena parte da sua área de ocorrência original é indicada para plantio comercial.

Com base nas condições deste experimento onde a análise de solo indicou baixo conteúdo de matéria orgânica, teor de P muito baixo e de K baixo, recomenda-se:

Nitrogênio

Vaso (16 L de solo) - no mínimo 44 g de N na forma de ureia (particionado em 4 vezes), tendo em vista que a resposta para este elemento foi linear.

Cova (50x50x50 cm) - 344 g (particionado).

1 ha/100 covas - 34,4 kg (particionado).

Fósforo

Considerando a dose de máxima eficiência técnica calculada igual a 1377 mg dm⁻³.

Vaso - 22,4 g de P₂O₅

Cova - 175 g

1 ha - 17,5 kg

Potássio

Como o K não influenciou o crescimento nos níveis testados recomenda-se a dose de manutenção utilizada no experimento:

Vaso - 12,5 g de K₂O.

Cova - 137 g

1 ha - 13,7 kg

O segundo capítulo desta tese teve como objetivo estudar o comportamento de enxertos a partir de ramos primários da araucária. O resultado mostra que embora seja possível a mudança do tropismo, pelo menos até os 5 ou 6 anos, o enxerto preserva as características do local de origem. Logo, a enxertia com esse tipo de material é limitada podendo ser indicada para o melhoramento genético, facilitando as operações de polinização controlada, por exemplo, já que origina plantas de copa baixa.

De forma complementar a este trabalho, foram realizados testes de poda naqueles enxertos que apresentaram crescimento ortotrópico para verificar se o crescimento vertical

permanecerá nas brotações. O resultado poderá indicar se a mudança do tropismo é temporária ou permanente.

Também estão sendo conduzidos testes com enxertia e estaquia de grimpas e até o momento sabe-se que este material também não regenera uma araucária com morfologia e função semelhante àquela oriunda de semente ou de propágulo ortotrópico. Na enxertia de grimpas, esta se comporta como se estivesse na planta de origem vindo a morrer alguns anos depois. Porém, quando a grimpas é enraizada e desta é obtido o propágulo para enxertia, o enxerto não morre e produz verticilos bem mais organizados que na enxertia de propágulos de ramos primários, porém crescem mais na horizontal.

No terceiro capítulo foi proposta uma metodologia para contornar a escassez de ramos ortotrópicos. Apesar de resultados interessantes é necessário melhorar a metodologia, para isso é preciso testar o melhor local de enxertia no ramo, se próximo do tronco ou se mais perto do ápice do ramo. Também é preciso compreender melhor os efeitos da dominância apical sobre o enxerto. Testes preliminares mostraram que a remoção da copa favoreceu o desenvolvimento do enxerto, no entanto, prejudica o desenvolvimento da planta. Estudos devem ser desenvolvidos com o objetivo de avaliar o potencial de multiplicação de matrizes em longo prazo em jardins clonais com plantas enxertadas nos ramos. Assim, saberemos até quando poderemos manejar uma planta, e as limitações técnicas inerentes a esta metodologia.

Parte dos experimentos contidos nesta tese (cap. II e III) está sendo mantida na fazenda da UFPR e no viveiro do Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo para acompanhamento em longo prazo.

Os resultados desta tese geraram informações importantes relacionadas à nutrição da araucária, contribuíram para a melhor compreensão do plagiotropismo da espécie e indicaram uma alternativa para multiplicação de material selecionado para propagação vegetativa da espécie.

REFERÊNCIAS

- ALONI, R.; LANGHANS, M.; ALONI, E.; ULLRICH, C. I. Role of cytokinin in the regulation of root gravitropism. **Planta**. v. 220, p. 177-182, 2004.
- AMARANTE, C. V. T. do; MOTA, C. S.; MEGGUER, C. A.; IDE, G. M. Conservação pós-colheita de pinhões [sementes de *Araucaria angustifolia* (Bertoloni) Otto Kuntze] armazenados em diferentes temperaturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 346-351, 2007.
- AMARANTE, C. V. T. do; BISOGNIN, D. A.; STEFFENS, C. A.; ZANARDI, O. Z.; ALVES, E. de O. Quantificação não destrutiva de clorofilas em folhas através de método colorimétrico. **Horticultura Brasileira** 26, p. 471-475, 2008.
- ANSELMINI, J. I. **Fenologia reprodutiva da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, na região de Curitiba**. 2005. 52 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- ANSELMINI, J. I.; ZANETTE, F. Microenxertia e sua caracterização morfológica em *Araucaria angustifolia*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 967-973, 2008.
- BACKES, A. Distribuição geográfica atual da Floresta com Araucária: condicionamento climático. p. 39-44. In: FONSECA, C. R.; SOUZA, A. F.; LEAL-ZANCHET, A. M.; DUTRA, T. L. BACKES, A.; GANADE, G. (Eds.) **Floresta com Araucária: ecologia, conservação e desenvolvimento sustentável**. Ribeirão Preto: Editora Holos, 2009.
- BACKES, A.; NILSON, A. D. *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze, o pinheiro-brasileiro. **Iheringia (Série Botânica)** 30, p. 85-96, 1983.
- BANDEL, G.; GURGEL, J. A. A. Proporção do sexo em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Silvicultura em São Paulo**, v. 6, p. 209-220, 1967.
- BERTHOLDO, L. M.; CORDEIRO, R. A. F.; ASTARITA, L. V. Indução de brotos de *Araucaria angustifolia* cultivada in vitro. **X Salão de Iniciação Científica – PUCRS**, 2009.
- BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 25, n.9/10, p. 1791-1800, 1994.
- BLUM, W. E. H. Ecologia da *Araucaria angustifolia* e futuras condições de reflorestamento no Sul do Brasil. **Brasil Madeira**, Curitiba, v. 7, p. 10-12, 1977.
- BLUM, M. E. H. Site nutrition – grown interrelationship of Araucarias. In: IUFRO Meeting on forestry problems of the genus *Araucaria* (1:1979: Curitiba). Forestry problems of genus *Araucaria*. **FUPEF**, Curitiba, 1980, p. 119-130.
- CARLUCCI, M. B.; JARENKOW, J. A.; DUARTE, L. D. S.; PILLAR, V. P. Conservação da Floresta com Araucária no extremo sul do Brasil. **Natureza & Conservação**, 9, p. 111-114, 2011.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e usos da madeira**. Colombo: EMBRAPA/CNPQ, 1994. 640 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003. 1039 p.

CASTELLA, P. R. Subprojeto Conservação do Bioma Floresta com Araucária: diagnóstico dos remanescentes florestais: relatório final. Curitiba: FUPF, 2001. v. I, 121 p. **Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira - PROBIO**.

CASTELLA, P. R.; BRITZ, R. M. A. (Org.). **Floresta com Araucária no Paraná: conservação e diagnóstico dos remanescentes florestais**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2004. 233 p.

CASSOL, C. A. **Relações entre características do solo, crescimento e produtividade em povoamento implantado de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., em Passo Fundo - RS**. 1982. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1982.

CHAPMAN, S. C.; BARRETO, H. J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, n. 4, p. 557-562, 1997.

CIRAD / GERDAT – Unité de modélisation des plantes. L'architecture des plantes: morphologie. 1993. Disponível em <<https://pt.slideshare.net/ArborCulture/plant-morphology-architecture-criteria-analysis-cirad-rey-1993>>. Acesso em: 22 fev. 2017.

COX, M. C. H.; BENSCHOP, J. J.; VREEBURG, R. A. M.; WAGEMAKERS, C. A. M.; MORITZ, T.; PEETERS, A. J. M.; VOESENEK, L. A. C. J. The roles of ethylene, auxin, abscisic acid, and gibberellin in the hyponastic growth of submerged *Rumex palustris* petioles. **Plant Physiol.** v. 136, p. 2948-2960, 2004.

DE HOOGH, R. J.; DIETRICH, A. B. Classificação de sítio, tabela de volume e de produção para povoamentos artificiais de *Araucaria angustifolia*. **Revista Brasil Florestal**, Brasília, n. 36, p. 58-82, 1978.

DE HOOGH, R. J.; DIETRICH, A. B. Avaliação de sítio para *Araucaria angustifolia*. (Bert.) O. Ktze. em povoamentos artificiais. **Brasil Florestal**, v. 10, n. 37, p. 19-71, 1979.

DE HOOGH, R. J.; VAN GOOR, C. P.; BLUM, W. E. H. Response of planted *Araucaria angustifolia* to N, P, K, Ca and B fertilization, 3 and 7 years after application. In: **PROBLEMAS FLORESTAIS DO GÊNERO ARAUCÁRIA**, 1980, Curitiba. Proceedings... Curitiba: FUPF, 1980. 382 p.

DE HOOGH, R. J. de, **Site-nutrition-growth relationships of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In South Brasil**. Freiburg: Albert-Ludwigs- Universität. 1981. 161 f. Tese (Ph. D.) Albert-Ludwigs Universität. 1981.

DILLENBURG, L.; ROSA, L. M. G.; MÓSENA, M. Hypocotyl of seedlings of the large-seeded species *Araucaria angustifolia*: an important underground sink of the seed reserves. **Trees**, 24, p. 705-711, 2010.

EIRA, M. T. S.; SALOMÃO, A. N.; CUNHA, R. da; CARRARA, D. K.; MELLO, C. M. C. Efeito do teor de água sobre a germinação de sementes de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. – Araucariaceae. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 16, n. 1, p. 71-75, 1994.

FAQUIN, V. **Diagnose do estado nutricional de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 77 p.

FIGUEIREDO FILHO, A.; ORELLANA, E.; NASCIMENTO, F.; DIAS, A. N. INOUE, M. T. Produção de sementes de *Araucaria angustifolia* em plantio e em floresta natural no centro-sul do Estado do Paraná. **Floresta**, v. 41, n. 1, p. 155-162, 2011.

FONTANIER, E. J.; JONKERS, H. Juvenility and maturity of plants as influenced by their ontogenetical and physiological aging. **Acta Horticulturae**, v. 56, p. 37-44, 1976.

FUPEF. **Inventário florestal do Pinheiro do no sul do Brasil**: relatório final / Fundação de Pesquisas florestais do Paraná. Curitiba, 1978. 327 p.

GABELMAN, W. H.; LOUGHMAN, B. C. Editorial. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GENETIC ASPECTS OF PLANT MINERAL NUTRITION, 2., 1985, Madison. **Proceedings**. Netherlands: Martinus Nijhoff Publishers, 1987. 629 p.

GOLFARI, L. Coníferas aptas para repoblaciones forestales en el Estado de São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v. 6, p. 7-62, 1967.

GOLFARI, L. Coníferas aptas para reflorestamento nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. **Boletim Técnico IBDF**, Rio de Janeiro, n. 1, p. 1-71, 1971.

GUILHERME, F. A. G. Efeitos da cobertura de dossel na densidade e estatura de gramíneas e da regeneração natural de plantas lenhosas em mata de galeria, Brasília - DF. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 60-66, 2000.

GURGEL FILHO, O. A. Sílvia da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: IUFRO MEETING ON FORESTRY PROBLEMS OF THE GENUS ARAUCARIA, 1., 1979, Curitiba. Forestry problems of the genus Araucaria. Curitiba: FUPEF, p. 28-68, 1980.

GURGEL, J. T. A.; GURGEL FILHO, O. A. Evidências de raças geográficas no pinheiro-brasileiro, *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 33-39, 1965.

GURGEL J. T. A., GURGEL FILHO O. A. Métodos de enxertia para o pinheiro brasileiro, *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., visando à formação de pomares de sementes. Nota Prévia: **Silv. S. Paulo** 6, p. 153-155, 1967.

HAINES, R. J.; NIKLES, D. G. Seed production in *Araucaria cunninghamii* - the influence of biological features of the species. **Aust. For.** 50, p. 224-230, 1987.

HALLÉ, F.; OLDEMAN, R. A. A.; TOMLINSON, P. B. **Tropical trees and forests. An architectural analysis**, Berlin: Springer Verlag, 1978.

HALLÉ, F. Ecology and reiteration in tropical trees. In: Kurmann and A.R. Hemsley (Ed.). **The Evolution of Plant Architecture**. Londres: Royal Botanic Gardens, Kew, p. 93-107, 1999.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES JR, F. T.; GENEVE, R. L. **Plant propagation: principles and practices**. 8 ed. São Paulo: Prentice-Hall, 2011, 915 p.

HERTEL, R. J. G. **Interpretação morfológica da *Araucaria angustifolia***. 1980. 143 f. Tese (Professor titular). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1980.

HIBBERT-FREY, H.; FRAMPTON, J.; BLAZICH, F. A.; HUNDLEY, D.; HINESLEY, L. E. Grafting Fraser Fir (*Abies fraseri*): Effect of scion origin (crown position and branch order). **HortScience** 46 (1), p. 91-94, 2011.

HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. A.; GONÇALVES, A. N. Evolução do jardim clonal de eucalipto para a produção de mudas. **IPEF Notícias**, v. 24, n. 148, p. 4-6, 2000.

HOPPE J. M. **Relações entre dados analíticos do solo, análise foliar e dados de incremento da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., na floresta nacional de Passo Fundo RS**. 1980. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Paraná Curitiba. 1980.

HUECK, K. **Distribuição e habitat natural do Pinheiro do Paraná (*Araucaria angustifolia*)**. Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo: Botânica. v. 10, 1953.

HUECK, K. **As florestas da América do Sul: ecologia, composição e importância econômica**. Brasília/São Paulo: Editora UnB/Polígono, 1972.

IBDF. **Zoneamento econômico florestal do Estado do Rio Grande do Sul**. Curitiba, 1971. 125 p.

INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. **Recursos naturais e meio ambiente: uma visão do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE - Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1997. 208 p.

IRITANI, C. **Ação de reguladores de crescimento na propagação vegetativa por estaquia de *Ilex paraguariensis* Saint Hilare e *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze**. 1981. 163 f. Dissertação (Mestrado em Ciências, Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1981.

IRITANI, C.; SOARES, R. V. Indução do enraizamento de estacas de *Araucaria angustifolia* através da aplicação de reguladores de crescimento. **Silvicultura**, v. 8, n. 28, p. 313-317, 1983.

IRITANI, C.; SOARES, V. R.; GOMES, A. V. Aspectos morfológicos da ação de reguladores de crescimento em estacas de *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze. **Acta Biologica Paranaense**, Curitiba, v. 15, p. 1-20, 1986.

IRITANI, C.; ZANETTE F.; CISLINSKI, J. Aspectos anatômicos da cultura in vitro da *Araucaria angustifolia*. I. Organização e desenvolvimento dos meristemas axilares ortotrópicos de segmentos caulinares. **Acta Biologica Paranaense**, v. 21, n. 1, 2, 3, 4, p. 57-76, 1992.

IRITANI, C.; ZANETTE, F., CISLINSKI, J. Aspectos anatômicos da cultura in vitro da *Araucaria angustifolia*. II. O enraizamento dos brotos axilares. **Acta Biológica Paranaense**. Curitiba, v. 22, n. 1/2/3/4. p. 1-13, 1993.

IRITANI, C. Aspectos múltiplos da cultura in vitro da *Araucaria angustifolia* (BERT) O. Ktze. **Floresta**, Curitiba, v. 27, n. 1/2, p. 141-142, 1997.

IRITANI, C.; ZANETTE, F. Enraizamento in vitro de brotos ortotrópicos da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: **Congresso Nacional de Botânica**, 51, 2.000, Brasília. Resumos. Brasília: Sociedade Botânica do Brasil, 2.000, p. 27.

IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources). **The IUCN Red List of Threatened Species: *Araucaria angustifolia*** (published in 2013). Disponível em <<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T32975A2829141.en>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

KAGEYAMA, P. Y.; FERREIRA, M. Propagação vegetativa por enxertia com *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **IPEF**, n. 11, p. 95-102, 1975.

KERSTEN, R. de A.; BORG, M.; GALVÃO, F. Floresta Ombrofila Mista: aspectos fitogeográficos, ecológicos e métodos de estudo. In: Eisenlohr, P. V. et al. (Eds.). **Fitossociologia no Brasil: Métodos e Estudos de Casos - Vol. II**. Viçosa-MG: Editora UFV, 2015, p. 156-182.

KOCH, Z.; CORRÊA, M. C. **Araucária: a floresta do Brasil Meridional**. Curitiba: Olhar Brasileiro, 2002. 148 p.

KOEHLER, A. B.; PÉLLICO NETTO, S.; SANQUETTA, C. R. Análise da estrutura de uma Floresta Ombrófila Mista semi-devastada, Fazenda Gralha Azul, Região Metropolitana de Curitiba. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.** Curitiba, v. 1, p. 37-60, 1998.

KOEHLER, A. B. **Modelagem biométrica e morfometria em povoamentos jovens de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., em Tijucas do sul, Estado do Paraná**. 2009. 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

KRAISER, T.; GRAS, D. E.; GUTIÉRREZ, A. G.; GONZÁLEZ, B.; GUTIÉRREZ, R. A. A holistic view of nitrogen acquisition in plants. **Journal of Experimental Botany** 62, p. 1455-1466, 2011.

KUNIYOSHI, Y. S. **Morfologia da semente e da germinação de 25 espécies arbóreas de uma floresta com araucária**. 1983. 233 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1983.

LACERDA, C. F. **Fisiologia Vegetal**. Departamento de Engenharia Agrícola - UFC, Fortaleza, 2002.

LAMOTTE, C. E.; PICKARD, B. G. Control of gravitropic orientation. II. Dual receptor model for gravitropism. **Funct. Plant Biol.** v. 31 (2), p. 109-120, 2004.

LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. Vegetação. In: IBGE. **Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE – Diretoria de Geociências, v. 2, p. 113-150, 1990.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 4. ed. Nova Odessa: Plantarum, 2002. v. 1, 368 p.

MAIA, S. C. M. **Uso do clorofilômetro portátil na determinação da adubação nitrogenada de cobertura em cultivares de feijoeiro**. 2011. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu, 2011.

MALIK, A. I.; RENGEL, Z. **Physiology of Nitrogen-Use Efficiency. Improving Water and Nutrient-Use Efficiency in Food Production Systems**. John Wiley & Sons, Inc. 2013.

MCALLISTER, C. H.; BEATTY, P. H.; GOOD, A. G. Engineering nitrogen use efficient crop plants: the current status. **Plant Biotechnology Journal** 10, p. 1011-1025, 2012.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. 2002. Proposta do grupo de trabalho preservação e recuperação da Floresta Ombrófila Mista no Estado de Santa Catarina. **Portaria Ministerial 49** de 06 de fevereiro de 2002, Brasília, Brasil, p. 77.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro** – Região Sul / Lidio Coradin; Alexandre Siminski; Ademir Reis. Brasília: MMA, 2011. 934 p.

MÄHLER JR, J. K. F.; LAROCCA, J. F. Fitofisionomias, desmatamento e fragmentação da Floresta com Araucária. p. 243-252. In: FONSECA, C. R.; SOUZA, A. F.; LEAL-ZANCHET, A. M.; DUTRA, T. L.; BACKES, A.; GANADE, G. (Eds.) **Floresta com Araucária: Ecologia, conservação e desenvolvimento sustentável**. Ribeirão Preto: Editora Holos, 2009.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das Gimnospermas**. Santa Maria: Ed. UFSM, 1996, 158 p.

MARSCHNER H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3 ed., Academic Press, San Diego. 2012. 672 p.

MATTOS, J. R. **O pinheiro brasileiro**. São Paulo: Grêmio Politécnico, 1972. 620 p.

MATTOS, J. R. **O pinheiro brasileiro**. 2 ed. Lages: Artes Gráficas Princesa LTDA, 1994. 225 p.

MINOLTA CAMERA Co., Ltda. **Manual for chlorophyll meter SPAD 502**. Osaka: Minolta, Radiometric Instruments Divisions, 1989. 22 p.

NATH, M.; TUTEJA, N. NPKS uptake, sensing, and signaling and miRNAs in plant nutrient stress. **Protoplasma**, p. 1-20. 2015.

NIKLES, D. G. The development of a new method for grafting hoop on kauri pines. **Queensland Forest Service**, Brisbane, p. 1-31, 1961.

NIMSCH, H. **The genus Araucaria: na illustrated overview of its species**. 2011.

Disponível em

<http://www.forstbuch.de/NimschAraucariaFIN_ENGLISH_ReadingRehearsal.pdf>.

Acesso em: 19 jan. 2017.

OLIVEIRA, B. As regiões de ocorrência normal de *Araucaria angustifolia*. **An. Bras. Econ. Flor.**, Rio de Janeiro, v.1, p. 185-199, 1948.

OLIVEIRA, L. da S. **Enxertia, microenxertia e descrição do tropismo em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** 2010. 90 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

ORMOND, J. G. P.; DE PAULA, S. R. L.; FAVERET FILHO, P.; ROCHA, L. T. M. da. **Agricultura orgânica: quando o passado é futuro**. Rio de Janeiro: BNDES, 2002. 35 p.

PEREIRA, M. de O.; NAVROSKI, M. C.; REINIGER, L. R. S.; TEIXEIRA, D. da S.; MISSIO, F. de F.; TONETT, E. L. Estabelecimento in vitro de segmentos caulinares de araucária (*Araucária angustifolia*). **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 13, n. 4, out./dez., p. 303-309, 2014.

PIJUT, P. M.; WOESTE, K. E.; MICHLER, C. H. Promotion of adventitious root formation of difficult-to-root hardwood tree species. **Horticultural Reviews**, v. 38, p. 213-251, 2011.

PIRES, P. P. **Sazonalidade e soluções nutritivas na miniestaquia de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em propágulos de origem seminal**. 2012. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

PIRES, P. P.; WENDLING, I.; AUER, C. G.; KRATZ, D. Diferentes métodos de enxertia em *Araucaria angustifolia*. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 9., 2010, Colombo. **Anais...** Colombo: Embrapa Florestas, 2010. 1 CD-ROM. (Embrapa Florestas. Documentos, 198).

REITZ, R.; KLEIN, R. M. Araucariáceas. In: **Flora Ilustrada Catarinense**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1966.

ROBINSON, D. F. Three gradients in the architecture of trees. **Ann. For. Sci.** v. 57, p. 439-444, 2000.

ROSSA, U. B.; ANGELO, A. C.; NOGUEIRA, A. C.; REISSMANN, C. B.; GROSSI, F.; RAMOS, M. R. Fertilizante de liberação lenta no crescimento de mudas de *Araucaria angustifolia* e *Ocotea odorifera*. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 41, n. 3, p. 491-500, 2011.

SANQUETTA, C. R. Crescimento, mortalidade e recrutamento em duas florestas de araucária (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.) no Estado do Paraná, Brasil. **Revista de Ciências Exatas e Naturais**, v. 5, n. 1, 2003.

SANQUETTA, C. R.; MATTEI, E. **Situação dos remanescentes da floresta de araucária no Brasil. Perspectivas de recuperação e manejo sustentável das florestas de araucária**. Multi-Graphic, Curitiba, 2006.

SANQUETTA, C. R. **Manual para instalação e medições de parcelas permanentes nos Biomas Mata Atlântica e Pampa**. S. I. Rede Map, Curitiba: Funpar, 2008. 43 p.

SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; RODRIGUES, A. L.; MOGNON, M. **Floresta com araucária e suas transições: pesquisas ecológicas de longa duração**. Curitiba: Multi-Graphic, 2014, 296 p.

SCHEEREN, L. W.; GEHRARDT, E. J.; FINGER, C. A. G.; LONGHI, S. J.; SCHNEIDER, P. R. Grouping of samples units of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. According to variable of the soil, of burlap and leafs, in the área of canela, RS. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 2, 2000.

SEITZ, R. A. Crown development of *Araucaria angustifolia* in its natural environment during sixty years. In: **Crown and Canopy structure in relation to productivity**, 1986. Proceedings. Ibaraki Forestry and Forest Products Research Institute, 1986. p. 129-146.

SIMÕES, J. W.; COUTO, H. T. Z. Efeitos da omissão de nutrientes na alimentação mineral do pinheiro do Paraná *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze. cultivado em vaso. **Instituto de Pesquisas Florestais**, n. 7, p. 3-39, 1973.

SOARES, T. S.; MOTA, J. H. Araucária – o pinheiro brasileiro. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**. Ano II, n. 3, 2004.

SOUZA, A. F.; FORGIARINI, C.; LONGHI, S. J.; BRENA, D. A. Regeneration patterns of a long-lived dominant conifer and the effects of logging in southern South America. **Acta Oecologica**, v. 34, p. 221-232, 2008.

SOUZA, V. A. de; AGUIAR, A. V. de. **Programa de melhoramento genético de araucária da Embrapa Florestas: situação atual e perspectivas**. Colombo: Embrapa. Documentos 237, 2012. 40 p.

TRIPATHI, S. N.; RAGHUBANSHI, A. S. Seedling growth of five tropical dry forest tree species in relation to light and nitrogen gradients. **Journal of Plant Ecology** 7, p. 250-263, 2014.

VAN GOOR, C. P. Classificação da capacidade da terra em relação ao reflorestamento com *Pinus elliottii* Eng. var. *elliottii* e *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., no Estado de São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, v. 4, p. 349-366, 1965a.

VAN GOOR, C. P. **Reflorestamento com coníferas no Brasil: aspectos ecológicos das plantações na região Sul, particularmente com *Pinus elliottii* e *Araucaria angustifolia*.** Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Setor de Inventários Florestais, (Boletim 9), 58 p., 1965b.

VEIERSKOV, B.; RASMUSSEN, H.; ERIKSEN, B; MOLLER, H. Plagiotropism and auxin in *Abies nordmanniana*. **Tree Physiology**, v. 27, p. 149-153, 2007.

VIÉGAS, I. J. M.; LOBATO, A. K. S.; RODRIGUES, M. F. S.; CUNHA, R. L. M.; FRAZÃO, D. A. C.; NETO, C. F. L.; CONCEIÇÃO, H. E. O.; GUEDES, E. M. S.; ALVES, G. A. R.; SILVA, S. P. Visual symptoms and growth parameters linked to deficiency of macronutrients in young *Swietenia macrophylla* plants. **Journal of Food, Agriculture & Environment** 10, p. 937-940, 2012.

WANG, Y.; WU, W. H. Potassium transport and signaling in higher plants. **Annual Review of Plant Biology** 64, p. 451-476, 2013.

WANG, X.; ZHAO, X.; JIANG, C.; LI, C.; CONG, S.; WU, D.; CHEN, Y.; YU, H.; WANG, C. Effects of potassium deficiency on photosynthesis and photoprotection mechanisms in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). **Journal of Integrative Agriculture**. 14, p. 856-863, 2015.

WENDLING, I.; DELGADO, M. E. Produção de mudas de araucária em tubetes. Colombo: Embrapa Florestas. **Comunicado técnico 201**, 2008. 8 p.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F.; HOFFMANN, H. A.; BETTIO, G.; HANSEL, F. Indução de brotações epicórmicas ortotrópicas para a propagação vegetativa de árvores adultas de *Araucaria angustifolia*. **Agronomía Costarricense**, 33 (2): p. 309-319, 2009.

WENDLING, I. Enxertia e florescimento precoce em *Araucaria angustifolia*. Colombo: Embrapa Florestas. **Comunicado Técnico 272**, Junho, 2011.

WENDLING, I.; BRONDANI, G. E.; BIASIO, A.; DUTRA, L. F. Vegetative propagation of adult *Ilex paraguariensis* trees through epicormic shoots. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 35, n. 1, p. 117-125, 2013.

WENDLING, I. Tecnologia de enxertia de *Araucaria angustifolia* para produção precoce de pinhões, com plantas de porte reduzido. Colombo: Embrapa Florestas. **Comunicado Técnico 351**, Maio, 2015.

WENDLING, I.; BRONDANI, G. E. Resgate vegetativo e estaquia de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze. **Revista Floresta**, Viçosa-MG, v. 39, n. 1, p.93-104, 2015.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas.** Viçosa, MG: ed. UFV, 2009. 272 p.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas.** 2 ed. Viçosa, MG: Ed da UFV, 2013. 279 p.

ZANETTE, F.; IRITANI C.; PAULA, S. R. Aspectos básicos da cultura in vitro de *Araucaria angustifolia*. I. Organização e desenvolvimento dos meristemas axilares. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, v. 9, p. 7-13, 1987.

ZANETTE, F. **A araucária não é peça de museu**. Ed. UFPR, 2016, 7 p.

ZANETTE, F. Enxertia de araucária para produção de pinhão. 2011. Disponível em <<http://www.sistemafeaep.org.br/wp-content/uploads/2014/08/FolderEnxertinhaAraucaria.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2017.

ZANETTE, F.; OLIVEIRA, L. da S.; BIASI, L. A. Grafting of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze through the four seasons of the year. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal, v. 33, n. 4. p. 1364-1370, 2011.

ZANETTE, F. **Enxertia em araucária**. Direção: Videopar. Curitiba-PR, 2013. DVD (72 min), color.

ZOBEL, B., TALBERT, J. **Applied forest tree improvement**. New York, North Carolina State University, 1984, 505 p.

ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture – status and perspectives. **Journal Plant Physiology** 171, p. 656-69, 2014.

ANEXOS

ANEXO 1 – TABELA DE CORRELAÇÃO DE PERSON ENTRE PARÂMETROS DE CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE *A. angustifolia* SUBMETIDA A ADUBAÇÃO COM N.

	Alt	Diam	Comp-ramos	Entre-nó	IRC	Comp-acic	Larg-acic	PS-raiz	PS-acic	PS-ramos	PS-tronco	PS-copa	PMST	IQD	Hue	Teor-N
Alt																
Diam	0,78 *															
Compr-ramos	0,59 *	0,45														
Entre-no	0,80 *	0,59 *	0,57 *													
IRC	0,37	0,39	0,31	0,47 *												
Comp-acic	0,54 *	0,31	0,47 *	0,58 *	0,45 *											
Larg-acic	0,43	0,41	0,44	0,52 *	0,83 *	0,73 *										
PS-raiz	0,08	0,23	0,33	-0,06	-0,09	-0,18	-0,07									
PS-acic	0,62 *	0,72 *	0,53 *	0,58 *	0,39	0,45 *	0,48 *	0,25								
PS-ram	0,54 *	0,66 *	0,54 *	0,53 *	0,35	0,37	0,45 *	0,44	0,97							
PS-tron	0,80 *	0,79 *	0,58 *	0,69 *	0,52 *	0,46 *	0,57 *	0,32	0,87	0,86						
PS-copa	0,68 *	0,76 *	0,57 *	0,63 *	0,44	0,46 *	0,52 *	0,32	0,98	0,97	0,94					
PMST	0,71 *	0,65 *	0,44	0,75 *	0,50 *	0,59 *	0,58 *	-0,19	0,85	0,75	0,77	0,83				
IQD	0,63 *	0,76 *	0,53 *	0,63 *	0,42	0,41	0,51 *	0,32	0,94	0,94	0,84	0,94	0,85			
Hue	0,05	0,30	0,30	0,31	0,45 *	0,12	0,45 *	-0,03	0,49	0,50	0,45	0,50	0,48	0,50		
Teor-N	-0,22	-0,14	0,01	-0,02	-0,08	-0,19	-0,05	0,33	0,21	0,34	0,21	0,24	0,00	0,16	0,48	

Onde: Alt (altura); Diam (diâmetro); Comp-ramos (comprimento do ramo); Entre-nó (distância de entre-nó); IRC (índice relativo de clorofila); Comp-acic (comprimento de acículas); Larg-acic (largura de acículas); PS-raiz (peso seco de raízes); PS-acic (peso seco de acículas); PS-ramos (peso seco de ramos); PS-tronco (peso seco de tronco); PS-copa (peso seco de copa); PMST (peso de matéria seca total); IQD (índice de qualidade de Dickson); Hue (ângulo hue – cor); Teor-N (g/kg) (teor de N nas acículas); *Significativo.

ANEXO 2 – TABELA DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE PARÂMETROS DE CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS *A. angustifolia* SUBMETIDA À ADUBAÇÃO COM P.

	Alt.	Diam.	Comp-ramos	Entre-nó	IRC	Comp-acic.	Larg-acic.	PS-raízes	PS-acic.	PS-raízes	PS-tronco	PS-copa	PMST	IQD	Raiz-copa	Teor- P
Alt.																
Diam.	0,80 *															
Comp-ramos	0,75 *	0,69 *														
Entre-nó	0,88 *	0,69 *	0,71 *													
IRC	0,40	0,33	0,53 *	0,30												
Comp-acic.	0,68 *	0,50 *	0,60 *	0,76 *	0,34											
Larg-acic.	0,60 *	0,40	0,57 *	0,62 *	0,70 *	0,70 *										
PS-raízes	-0,05	0,27	0,18	0,02	0,08	-0,11	0,01									
PS-acic.	0,83 *	0,82 *	0,79 *	0,70 *	0,49 *	0,57 *	0,58 *	0,06								
PS-raízes	0,70 *	0,81 *	0,71 *	0,60 *	0,47 *	0,49 *	0,51 *	0,23	0,94 *							
PS-tronco	0,92 *	0,87 *	0,69 *	0,80 *	0,41	0,56 *	0,52 *	0,02	0,91 *	0,84 *						
PS-copa	0,88 *	0,87 *	0,76 *	0,75 *	0,47 *	0,57 *	0,56 *	0,07	0,98 *	0,94 *	0,97 *					
PMST	0,63 *	0,82 *	0,68 *	0,58 *	0,40	0,37	0,43	0,66 *	0,78 *	0,85 *	0,75 *	0,80 *				
IQD	0,24	0,61 *	0,50 *	0,27	0,27	0,10	0,24	0,85 *	0,45 *	0,54 *	0,37	0,44	0,85 *			
Raiz-copa	-0,81 *	-0,66 *	-0,69 *	-0,66 *	-0,42	-0,59 *	-0,54 *	0,35	-0,87 *	-0,76 *	-0,81 *	-0,85 *	-0,44	-0,05		
Teor P	0,49 *	0,38	0,39	0,31	0,17	0,17	0,31	-0,39	0,50 *	0,39	0,45 *	0,48 *	0,13	-0,02	-0,69 *	

Onde: Alt (altura); Diam (diâmetro); Comp-ramos (comprimento do ramo); Entre-nó (distância de entre-nó); IRC (índice relativo de clorofila); Comp-acic (comprimento de acículas); Larg-acic (largura de acículas); PS-raiz (peso seco de raízes); PS-acic (peso seco de acículas); PS-ramos (peso seco de ramos); PS-tronco (peso seco de tronco); PS-copa (peso seco de copa); PMST (peso de matéria seca total); IQD (índice de qualidade de Dickson); Raiz-copa (relação raiz/copa); Teor-N (g/kg) (teor de N nas acículas), *Significativo.

ANEXO 3 – TABELA DE CORRELAÇÃO DE PERSON ENTRE PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DE ENXERTOS ORTOTRÓPICOS SOBRE RAMOS DE *A. angustifolia*.

Matriz de Correlação									
	OV	DV	C	A	DB	DT	DP	DB/DP	DT/DP
OV									
DV	0.72 *								
C	-0.52 *	-0.43 *							
A	0.37 *	0.44 *	-0.30						
DB	-0.62 *	-0.56 *	0.69 *	-0.14					
DT	-0.61 *	-0.57 *	0.82 *	-0.23	0.95 *				
DP	-0.19	-0.06	0.54 *	0.14	0.30	0.38 *			
DB/DP	-0.59 *	-0.59 *	0.55 *	-0.20	0.96 *	0.88 *	0.06		
DT/DP	-0.60 *	-0.61 *	0.70 *	-0.29	0.94 *	0.96 *	0.13	0.94 *	
Matriz de P-Valores									
	OV	DV	C	A	DB	DT	DP	DB/DP	DT/DP
OV									
DV	0.00								
C	0.00	0.01							
A	0.02	0.01	0.07						
DB	0.00	0.00	0.00	0.40					
DT	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00				
DP	0.24	0.70	0.00	0.38	0.06	0.02			
DB/DP	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00	0.72		
DT/DP	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.43	0.00	

Onde: OV (ordem do verticilo); DV (distância do verticilo); C (comprimento do enxerto); A (ângulo de crescimento – tropismo); DB (diâmetro da base da brotação do enxerto); DT (diâmetro do terço superior da brotação do enxerto); DP (diâmetro do porta-enxerto); DB/DP (relação diâmetro da base da brotação pelo diâmetro do porta-enxerto); DT/DP (relação diâmetro do terço superior da brotação pelo diâmetro do porta-enxerto); *Significativo.

ANEXO 4 - RELAÇÕES C/N, C/P, K/(Ca + Mg) E TEORES DE ELEMENTOS EM ACÍCULAS, RAMOS E TRONCO DE PLANTAS DE *A. angustifolia* ADUBADAS COM DOSES CRESCENTES DE N.

Var.	Doses de N (g)					Eq.	Var.	Doses de N (g)					Eq.
	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5	
Acículas													
C/N	58,5	51,3	52,4	36,5	31,9	L **	Fe	91,2	82,2	81,3	84,1	92,0	ns
C/P	137	239	267	291	276	L **	Mn	35,7	46,9	47,3	193	330	Q **
K/(Ca + Mg)	1,20	1,30	1,90	1,50	1,10	L *	Zn	21,4	18,2	13,4	16,0	18,3	Q *
C	457	465	473	480	472	ns	Cu	1,60	2,10	1,90	3,30	2,40	L *
N	7,9	10,3	9,0	13,5	15,4	L **	B	15,1	10,3	9,5	11,9	11,0	ns
P	3,40	2,20	1,80	1,70	1,80	L **	Al	103	84,3	81,5	75,9	72,2	L **
K	14,4	13,3	19,1	17,8	13,5	ns	Ba	14,2	11,4	11,4	15,9	16,2	ns
Ca	8,50	7,60	7,40	8,90	9,20	ns	Cd	0,03	0,02	0,05	0,11	0,10	L **
Mg	3,20	3,20	3,00	2,90	3,10	ns	Ti	1,40	1,30	1,20	1,60	1,40	ns
Ramos													
C/N	102,9	93,2	89,8	75,3	71,9	L **	Fe	122	86,2	108	79,6	95,4	ns
C/P	189	296	374	336	334	L *	Mn	18,9	32,1	44,2	113	189	Q **
K/(Ca + Mg)	1,00	0,93	1,06	1,34	0,97	ns	Zn	33,7	24,1	17,0	15,7	17,3	L **
C	445	446	446	448	443	ns	Cu	2,20	2,10	1,80	1,80	2,00	ns
N	4,40	5,10	5,00	6,10	6,30	L **	B	21,4	15,7	15,5	13,5	12,4	L **
P	2,40	1,90	1,30	1,50	1,40	L *	Al	129	91,8	116	100	96,4	ns
K	11,9	10,5	10,8	14,4	10,4	ns	Ba	26,1	22,2	23,2	24,3	27,1	Q *
Ca	9,40	8,00	7,40	7,70	7,80	ns	Cd	0,15	0,11	0,16	0,31	0,23	L *
Mg	3,20	3,30	2,90	3,00	2,90	Q *	Ti	2,30	1,50	2,40	1,50	2,00	ns
Caule													
C/N	116,6	111,4	106,9	84,0	76,2	L **	Fe	29,4	33,9	27,4	65,5	26,7	ns
C/P	276	316	424	402	453	L *	Mn	12,6	23,6	28,8	85,9	123	Q **
K/(Ca + Mg)	1,30	1,01	1,20	0,96	1,10	ns	Zn	13,0	20,1	10,7	11,1	11,4	ns
C	453	446	443	445	440	L **	Cu	1,80	2,40	1,80	2,40	2,30	ns
N	3,90	4,20	4,20	5,50	5,80	L **	B	11,1	10,8	8,10	11,7	9,40	ns
P	1,70	1,60	1,10	1,30	1,00	L *	Al	47,2	42,0	36,3	25,7	30,8	ns
K	9,80	9,00	7,50	7,60	8,60	ns	Ba	20,7	24,6	19,7	21,6	23,9	ns
Ca	5,40	5,70	4,40	5,50	5,10	ns	Cd	0,10	0,10	0,20	0,20	0,10	ns
Mg	2,20	3,00	2,30	2,80	2,70	ns	Ti	0,30	0,60	0,40	0,70	0,30	ns

Onde: C, N, P, K, Ca e Mg em g kg⁻¹; Fe, Mn, Zn, Cu, B, Al, Ba, Cd and Ti em mg kg⁻¹; Var. = variável; Eq = equação; L = equação linear; Q = equação quadrática;

* significativo a 5%; ** significativo a 1%; ns (não significativo).

ANEXO 5 - TEORES DE ELEMENTOS EM ACÍCULAS, RAMOS E TRONCO DE PLANTAS DE *A. angustifolia* ADUBADAS COM DOSES CRESCENTES DE P.

Var.	Doses de P (g)					Eq.	Var.	Doses de P (g)					Eq.
	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5	
----- Acículas -----													
P	1,11	1,48	1,50	1,54	1,79	L **	Cu	2,57	2,41	5,52	1,91	1,94	ns
K	14,88	14,71	14,68	14,25	13,26	ns	B	12,73	8,58	10,13	8,13	10,30	ns
Ca	9,02	9,06	8,90	7,80	7,66	ns	Al	98,48	94,17	121,39	69,28	75,09	ns
Mg	2,90	3,55	3,40	3,17	2,94	Q **	Ba	19,53	16,61	16,67	14,66	11,35	L *
Fe	104,74	103,23	106,70	72,05	79,12	ns	Cd	0,09	0,09	0,07	0,06	0,11	ns
Mn	184,96	125,43	95,35	141,90	103,11	L *	Ti	1,83	1,87	2,01	0,94	1,27	L *
Zn	15,86	14,35	13,03	12,91	13,87	ns							
----- Ramos -----													
P	0,50	0,90	0,97	1,22	1,33	L **	Cu	2,14	2,26	1,96	1,61	1,84	ns
K	15,02	13,88	10,99	11,95	11,37	L *	B	18,74	14,47	13,30	13,59	13,34	L **
Ca	8,67	8,45	8,17	7,12	7,60	ns	Al	122,73	144,99	160,08	114,55	132,82	ns
Mg	3,87	3,23	3,27	2,96	2,59	L **	Ba	38,00	31,61	31,30	26,91	20,68	L **
Fe	125,82	142,70	153,90	115,32	129,12	ns	Cd	0,05	0,08	0,12	0,20	0,23	L **
Mn	125,64	85,56	68,14	111,24	95,46	Q *	Ti	2,93	3,42	3,53	2,34	2,80	ns
Zn	20,07	15,88	16,85	14,53	17,92	ns							
----- Caule -----													
P	0,59	0,70	0,92	0,82	1,01	L *	Cu	2,60	1,93	2,05	1,73	1,83	L **
K	11,05	9,02	7,13	6,86	7,34	L **	B	14,79	10,03	10,75	8,38	8,62	L **
Ca	6,44	4,74	5,37	4,06	4,63	L **	Al	30,34	26,44	27,80	25,89	15,56	ns
Mg	3,32	2,59	2,87	2,24	2,16	L **	Ba	34,03	21,72	25,40	19,51	14,16	L **
Fe	29,84	23,55	28,46	31,62	50,48	ns	Cd	0,05	0,06	0,09	0,12	0,20	L **
Mn	61,01	45,42	36,34	61,09	44,78	ns	Ti	0,44	0,32	0,28	0,23	0,34	ns
Zn	12,94	9,31	10,65	8,21	9,41	ns							

Onde: P, K, Ca e Mg em g kg⁻¹; Fe, Mn, Zn, Cu, B, Al, Ba, Cd, Ti em mg kg⁻¹; Eq = equação; L = equação linear; Q = equação quadrática;

* significativo a 5%; ** significativo a 1%; ns (não significativo).

ANEXO 6 – TEORES DE ELEMENTOS EM ACÍCULAS, RAMOS E TRONCO DE PLANTAS DE *A. angustifolia* ADUBADAS COM DOSES CRESCENTES DE K.

Var.	Doses de K (g)					Eq.	Var.	Doses de K (g)					Eq.
	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5	
----- Acículas -----													
P	1,56	1,84	1,85	1,39	1,21	Q *	Cu	2,67	2,82	2,49	2,17	2,16	ns
K	4,78	11,12	14,08	15,67	14,22	Q **	B	15,43	12,44	9,82	9,15	9,56	L **
Ca	24,62	11,66	10,33	9,41	7,66	Q **	Al	87,19	97,73	112,70	78,00	88,39	ns
Mg	6,31	4,02	3,83	3,43	3,09	Q **	Ba	26,63	15,69	13,84	16,28	19,03	Q **
Fe	101,58	114,96	115,50	81,89	104,32	ns	Cd	0,20	0,10	0,15	1,14	0,14	ns
Mn	427,35	161,54	147,23	199,55	190,54	Q** L**	Ti	1,40	1,94	1,66	1,30	1,82	ns
Zn	14,27	15,47	12,53	11,50	12,02	ns							
----- Ramos -----													
P	1,17	1,28	1,22	1,19	0,93	ns	Cu	2,38	2,49	1,95	2,10	1,82	ns
K	1,61	7,34	8,24	12,05	12,40	L **	B	11,84	15,44	14,03	14,70	13,90	ns
Ca	12,21	9,15	8,51	8,38	6,52	L **	Al	113,60	150,13	155,84	142,99	141,73	Q *
Mg	5,45	3,53	3,26	3,09	2,60	L** Q**	Ba	22,41	22,71	23,55	29,16	38,68	L ** Q *
Fe	112,46	145,56	147,54	146,89	150,29	L **	Cd	0,37	0,25	0,21	0,20	0,26	Q *
Mn	95,95	99,55	90,22	92,93	131,93	ns	Ti	2,16	4,06	3,64	2,91	3,24	Q *
Zn	13,92	15,12	14,69	19,07	14,03	ns							
----- Caule -----													
P	0,99	0,90	0,68	0,62	0,58	L *	Cu	2,25	3,00	1,96	2,07	1,80	ns
K	1,74	4,59	4,34	7,00	8,05	L **	B	9,85	11,32	8,78	8,12	7,45	ns
Ca	6,79	5,06	4,79	5,21	4,19	L *	Al	29,98	68,25	24,44	20,51	40,00	ns
Mg	4,03	2,70	2,49	2,54	2,30	L **	Ba	16,32	16,49	16,18	22,56	29,27	L** Q *
Fe	24,04	52,69	27,72	16,34	83,14	L** Q**	Cd	0,12	0,16	0,05	0,09	0,06	ns
Mn	59,03	58,15	42,25	53,64	77,59	ns	Ti	0,19	1,15	0,27	0,17	0,41	ns
Zn	8,67	7,73	6,34	7,26	7,93	ns							

Onde: P, K, Ca e Mg em g kg⁻¹; Fe, Mn, Zn, Cu, B, Al, Ba, Cd, Ti em mg kg⁻¹; Eq = equação; L = equação linear; Q = equação quadrática;

* significativo a 5%; ** significativo a 1%; ns (não significativo).